Google

This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse http://books.google.com

T CITY
DNRY.
St.
N. O.

GIFT OF
Dr. F. W. Zerban

From F. W. Zerban, Chief Chemist,
New York Sugar Trade Laboratory.
1946

page 3. Lire ou emploie de [illegible] ou en Glise le Sucre.
28 Turbinage des écumes
120 Extracteur batterie

TRAITÉ COMPLET

DE

FABRICATION ET RAFFINAGE

DU SUCRE DE BETTERAVES

PAR

L. WALKHOFF,

PROPRIÉTAIRE ET FABRICANT DE SUCRE A KALINOWKA (PODOLIE),
MEMBRE DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES, ETC.

DEUXIÈME ÉDITION FRANÇAISE.

TRADUITE SUR LA QUATRIÈME ÉDITION ALLEMANDE
ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

PAR

E. MÉRIJOT,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
DIRECTEUR DES SUCRERIES DE BOURDON (PUY-DE-DOME)

ET

J. GAY-LUSSAC,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES SUCRERIES DU VICE-ROI D'ÉGYPTE.

TOME SECOND.

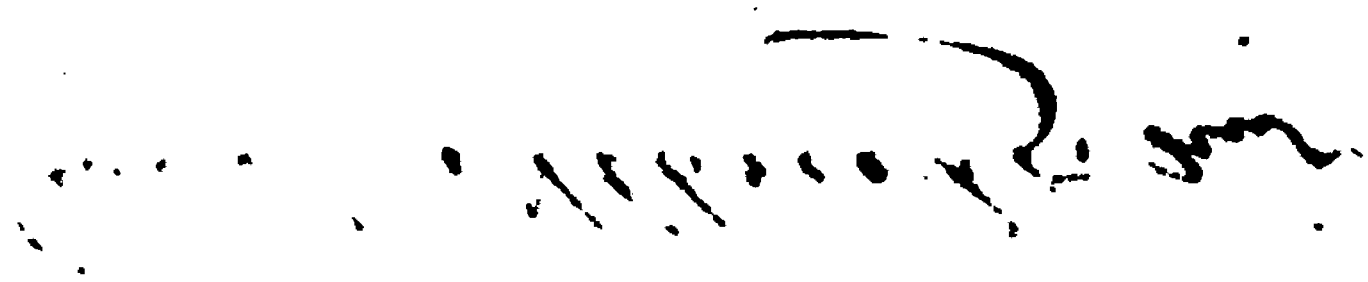
PARIS,

LIBRAIRIE F. SAVY,

24. RUE HAUTEFEUILLE 24.

1875.

Tous droits réservés.



TP390
W17
V. 2

Livre IV.

TRAITEMENT ET ÉPURATION DES JUS.

Chapitre I.

Défécation simple.

Nous avons étudié, dans les derniers chapitres du premier volume, la nature et l'importance des principes solides qui accompagnent le sucre dans les jus de betteraves; nous avons vu que plusieurs de ces matières exercent sur le sucre une influence nuisible, et s'opposent à sa séparation et à son isolement. La fabrication doit donc, pour produire le sucre sous forme cristallisée et à l'état de pureté absolue, commencer par séparer des jus les éléments étrangers qu'ils renferment.

Pour atteindre ce but parfaitement déterminé, on soumet les jus à divers traitements, soit chimiques, soit mécaniques. Malheureusement, comme nous le verrons plus loin, on n'arrive jamais, quelques soins que l'on prenne et quelque méthode que l'on suive, à une élimination absolue des matières étrangères.

La première des opérations que subit le jus est la *Défécation*, fondée sur l'action de la chaux.

On emploie pour cet objet les chaudières à déféquer dont la figure 110 représente la disposition.

Le jus arrive d'habitude directement dans ces chaudières en sortant des appareils d'extraction (presses, macérateurs, tur-

M50:283

bines, etc.), et on y élève immédiatement sa température. A cet effet, on ouvre la soupape *c* et on fait arriver de la vapeur à haute pression dans le double fond ménagé entre les deux enveloppes *a* et *b*. Le fond intérieur *a* a une forme hémisphérique et se fait en cuivre. Le choix de ce métal permet de donner aux parois beaucoup moins d'épaisseur que si on les faisait en fonte ou en tôle; par suite, la chaleur se transmet

Fig. 110.

beaucoup plus rapidement, le jus s'échauffe plus vite et l'on utilise mieux la vapeur. L'enveloppe extérieure *b*, de dimension plus grande, se fait en fonte. L'épaisseur de ce métal réduit la déperdition de chaleur par la surface, et l'emploi de la fonte permet d'abaisser le prix de revient de l'appareil. Par suite du contact de la vapeur avec la paroi *a* baignée sur l'autre face par le jus à basse température, la vapeur se condense rapidement et l'eau de condensation se rassemble au fond de l'enveloppe. Pour éviter que cette eau ne s'accumule en trop grande quantité, on ménage au point le plus bas du double fond un tuyau *d* qui fait office de purgeur. Toutefois, comme il importe de prévenir toute perte de vapeur inutile et de ne laisser écouler que de l'eau condensée, on fait déboucher le tuyau *d* dans un appareil automoteur sur lequel nous aurons

à revenir et dont nous donnerons la description dans un chapitre spécial. Enfin, le tuyau *f* est destiné à assurer l'échappement de l'air au moment où on commence à introduire la vapeur.

La chaudière est surmontée d'une hausse cylindrique boulonnée sur le fond et qui permet d'augmenter la capacité de l'appareil. Cette hausse se fait généralement en cuivre, sans qu'on puisse donner de raison sérieuse pour justifier l'emploi de ce métal au lieu de la fonte qui serait plus solide, moins coûteuse et mieux appropriée à cet usage.

Après que la défécation est achevée, on fait écouler le jus de la chaudière, soit par un syphon dont la petite branche descend dans la chaudière jusqu'au point le plus bas, soit par le robinet de vidange *e*.

Ce dernier dispositif offre de très-grands avantages parce qu'il supprime toute main-d'œuvre spéciale pour enlever les écumes ou résidus de la défécation et les conduire dans les décanteurs où on les laisse égoutter. Dans certaines installations, on remplace le robinet des écumes *e* par un boyau en caoutchouc qu'on adapte sur un tuyau qui traverse le double fond. On ferme ce caoutchouc à l'aide d'une forte pince analogue à celle des burettes de Mohr (voir le chapitre précédent); il suffit d'écarter la pince pour que tout le contenu de la chaudière puisse s'écouler dans les rigoles où l'ouvrier dirige l'extrémité du boyau en caoutchouc.

Ce mode de fermeture offre l'avantage que les pierres, le sable, ne peuvent plus, comme autrefois, obstruer les tuyaux ou abimer les robinets; l'appareil est toujours en bon état, et la fermeture étanche. Toutefois, l'action caustique de la chaux ne tarde pas à désagréger le caoutchouc qui doit être, par suite, assez fréquemment renouvelé.

Le travail de la défécation lui-même s'opère ainsi qu'il suit: aussitôt que la chaudière est pleine de jus jusqu'au-dessus du double fond, on introduit la vapeur dans l'intervalle des enveloppes, pendant que l'on continue à faire arriver du jus dans l'appareil jusqu'à ce qu'il atteigne le niveau voulu.

Dès qu'une chaudière est pleine, et que le jus atteint la marque fixée comme niveau, on ferme le robinet d'arrivée du jus et on laisse couler l'excédant dans la chaudière voisine. On observe alors dans la première chaudière la marche d'un thermomètre qui indique la température du jus. Dès que cette température arrive à 80 ou 90°, on ajoute la chaux à l'état de lait et on agite vivement. On ferme alors la soupape *c* qui amène la vapeur puis on la rouvre d'une très-faible quantité de façon que le jus additionné de chaux atteigne aussi lentement que possible son point d'ébullition. Aussitôt que ce moment est arrivé, et on le reconnait facilement aux mouvements de la surface du liquide, on supprime entièrement l'arrivée de vapeur, car c'est à cette température que la chaux a acquis son maximum d'action.

L'addition de la chaux produit dans le jus de gros flocons qui montent à la surface et y forment une croute plus ou moins épaisse.

Cette croute commence à se former habituellement à 87°, si la chaux a été ajoutée en proportion normale; on ne l'observe qu'à une température plus élevée s'il y avait excès de chaux, à une température plus basse dans le cas contraire. Les écumes se prennent bientôt en masse compacte, consistante et fortement colorée.

Le jus clarifié se trouve au-dessous, et, au bout de quelques minutes, on peut le soutirer par le syphon ou par le robinet *e*. La croute d'écume descend alors peu à peu en suivant le niveau du liquide, et reste au fond si l'on a la précaution de fermer le robinet et de supprimer l'écoulement du jus dès que le liquide commence à sortir trouble.

Les premières portions de jus qu'on retire de la chaudière sont souvent mal clarifiées; elles constituent les troubles. Comme cette partie du jus est difficile à débarrasser de ses impuretés et à travailler, on cherche autant que possible à en réduire le volume en réglant convenablement la dose de chaux et laissant reposer le liquide pendant 15 minutes environ avant de procéder au soutirage.

Les écumes et toute la portion trouble de la défécation, représentent 18 à 30 % de la quantité totale du jus. On les fait couler à l'aide du boyau en caoutchouc dont nous avons parlé plus haut dans des sacs formant filtres et placés au-dessous de la chaudière, de façon à séparer par égouttage la majeure partie du jus clair. Le résidu est placé dans des sacs d'une forme mieux appropriée au travail, et il est envoyé à la presse hydraulique dont l'action lente enlève presque tout le jus que retenaient les écumes. Dans beaucoup de fabriques, on fait précéder l'action de la presse hydraulique d'un premier travail à la presse à vis, ou bien l'on charge les sacs avec des poids de manière à exprimer une partie du jus.

Les presses à vis dont on fait usage sont représentées fig. 111. La vis *s s* passe dans un écrou métallique *m n* ménagé dans une forte pièce en bois *A B* reliée au sommier inférieur *C D* par les montants *M N*. On manœuvre la vis à l'aide

Fig 111.

du levier *l*. La plaque de pression *k k* monte ou descend suivant le mouvement imprimé à la vis. Les sacs sont pressés entre les deux plateaux *k k* et *g g*.

Les sacs à écume, après la pression, sont vidés, lavés et remis en service jusqu'à ce qu'ils deviennent inutilisables. L'excès de chaux que renferment les écumes rend ces sacs très-durs, cassants, et détruit rapidement leur tissu. Il est donc bon de les laver de temps en temps dans de l'eau légèrement acidulée, de façon à en éliminer la chaux qui passe à l'état de sel soluble.

Nous ajouterons que, depuis quelques années, on effectue dans presque toutes les fabriques le travail des écumes avec les filtres-presses, qui exigent un personnel beaucoup moindre et font disparaître tous les ennuis de l'ancienne méthode. Nous reviendrons plus tard avec détail sur ces appareils.

Le traitement à la chaux produit sur les jus un effet très-sensible à l'œil: le liquide, auparavant noir et trouble, devient clair, net et à peine coloré. Malheureusement, cet effet, comme nous le verrons plus loin, est plus apparent que réel; la défécation modifie l'aspect du jus et transforme les sels qu'il renferme, mais la proportion des matières étrangères réellement éliminées et séparées par la chaux est assez faible.

Au moment où le jus arrive à la défécation, nous savons qu'il renferme, comme éléments solides, en dehors du sucre, des matières azotées comme l'albumine, la légumine, les principes extractifs et des sels.

Dans les sels du jus, nous rencontrons comme bases, la potasse et la soude en première ligne, puis la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer, l'oxyde de manganèse. Ces éléments sont combinés en partie avec des acides organiques, tels que les acides citrique et oxalique, en partie avec des acides minéraux, tels que les acides chlorhydrique, sulfurique et phosphorique. La chaux qu'on ajoute à la défécation donne, avec les acides organiques et l'acide phosphorique, des combinaisons peu solubles et qui se séparent en majeure partie. Les bases que renfermait le jus sont donc mises en liberté; la potasse et la soude restent en dissolution, la magnésie, les oxydes de fer et de manganèse, insolubles à l'état libre, se séparent du jus avec le reste des matières précipitées.

Comme nous l'avons vu, on n'ajoute la chaux dans le jus que quand celui-ci est parvenu à 85 ou 90°. Dans ces conditions, l'albumine du jus se coagule et se sépare d'elle-même (à 85°), avant l'addition de chaux. Souvent, cette albumine ne se coagule qu'à une température plus élevée; on obtient alors de meilleures défécations en chauffant le jus jusqu'à 90°. Quant aux autres substances azotées, la chaux, sous une dose suffisante, parait en décomposer une partie pendant le travail même de la défécation. Il se forme par cette décomposition de l'ammoniaque qui, à la température où se trouvent les jus, se volatilise.

L'ammoniaque n'est donc pas un des éléments préexistants du jus. C'est un point que Hochstetter avait déjà démontré en 1843 et que Michaëlis a confirmé récemment. L'ammoniaque n'est qu'un des produits de la décomposition par la chaux et les alcalis d'une partie des principes organiques existant dans le jus.

[On a prétendu que toute addition de chaux au jus froid était fautive parceque la chaux s'opposait à la coagulation d'une partie de l'albumine, et que, d'une manière générale la chaux est moins soluble dans les liqueurs sucrées chaudes. Cependant, les méthodes généralement suivies aujourd'hui en France semblent avoir fait justice de cette restriction.]

D'après ce qui précède, il est facile d'établir la liste des principes réellement enlevés au jus par la défécation. Les écumes de défécation doivent contenir essentiellement les acides organiques et l'acide phosphorique combinés avec la chaux, la magnésie, les oxydes de fer et de manganèse. Elles renferment en outre l'albumine et les principes azotés avec un excès de chaux. L'importance et la composition des écumes doivent naturellement varier avec la constitution des betteraves elles-mêmes, et on ne saurait regarder une analyse d'écumes comme bonne pour tous les cas. Il n'est pourtant pas sans intérêt d'en citer une, ne fût-ce qu'à titre de contrôle des théories qui précèdent. Nous donnerons ici les résultats trouvès par Hoffmann.

100 parties d'écumes de défécation desséchées contenaient:

Carbonate de chaux . .	16,60		
Chaux	17,36		
Magnésie	1,90		
Alumine — Oxyde de fer	8,00		
Potasse, Soude	0,39		
Chlore	trace		
Acide sulfurique. . . .	0,05		
Acide phosphorique. . .	1,90		
Résidu non analysé. . .	4,50		
Matières organiques. . .	44,85	albumine	9,995
		azote . .	1,579
Eau	4,45		
	100,00		

On voit que l'alumine, les oxydes de fer et de manganèse, l'acide phosphorique, l'albumine et les autres principes azotés sont séparés presque entièrement.

La quantité d'écumes pressées que l'on obtient dépend essentiellement de la qualité des betteraves ou mieux de la qualité du jus.

Ainsi, sur 1051 k^{os} de jus, j'ai obtenu, dans les fabriques de Bohême, de 34^{k},4 à 37^{k},5 d'écume pressée, soit de 3,3 à 3,6 % de la quantité de jus, (le calcul étant fait sur les matières humides).

En Russie, j'ai obtenu, sur 1,575 k^{os} de jus, 53 k^{os} d'écume pressée, ce qui correspond à 3,4 % du jus. Ces chiffres varient du reste, soit en plus, soit en moins, suivant la qualité de la racine.

Achard retira, sur 168 k^{os} de jus, 10^{k},800 d'écume et 4 k^{os} 500 grammes de dépôt au fond de la chaudière, soit en tout 15^{k},300.

Ce chiffre représente 9 % de la quantité du jus et doit se rapporter à des écumes très-légèrement pressées.

Il est facile, d'après ces chiffres, de connaître la proportion des matières réellement enlevées au jus par la défécation. Les 3 ou 3,5 % d'écumes que l'on obtient contiennent environ

50 % d'eau. Elles représentent donc en éléments solides de 1,5 à 2,4 % dont il faut déduire ½ à ¾ % de chaux.

Du reste, la quantité d'écumes produite à la défécation parait dépendre en partie de la température à laquelle a été porté le jus. Si on le chauffe jusqu'à l'ébullition (102°), l'écume est très-compacte. A une température plus basse, limitée à 86 ou 90°, l'écume est plus divisée, plus volumineuse. Cependant, Michaëlis aurait trouvé qu'un jus déféqué à 86° contenait moins d'acides organiques, était plus pur, qu'avec une défécation à 102°. Toutefois la différence de pureté du jus dans les deux méthodes n'était pas importante.

D'un autre côté, la proportion plus ou moins forte de chaux ajoutée au jus exerce une grande influence sur la quantité des écumes. Un excès de chaux donne des écumes plus considérables, d'un jaune salé; une moindre proportion donne lieu à une croute moins grise, en gros flocons, plus fendillée.

La chaux que l'on emploie doit être aussi pure que possible, car les matières étrangères qu'elle renfermerait, comme la potasse, par exemple, passeraient dans le jus et exerceraient sur le sucre et sa séparation une influence nuisible. Aussi, a-t-on proposé de laver la chaux à plusieurs reprises à l'eau chaude, de manière à lui enlever les quelques éléments solubles et notamment la potasse qu'elle peut renfermer.

La chaux s'emploie de préférence récemment cuite, à l'état de chaux vive. On l'éteint avec de l'eau avant d'en faire usage, de manière à former une pâte blanche consistante. On y ajoute ensuite de l'eau jusqu'à ce qu'on obtienne un lait liquide d'une densité déterminée (20° Baumé par exemple). On agite vivement pour délayer la masse et on fait passer le tout, si l'on peut, à travers un tamis destiné à retenir les cailloux. Il ne reste plus ensuite qu'à verser le liquide dans les jus en ayant soin de les agiter constamment.

[Dans beaucoup d'usines, on fabrique aujourd'hui le lait de chaux mécaniquement: l'appareil le plus généralement employé est le malaxeur que M. Schreiber a construit sur les indications de M. Linard.

Le malaxeur se compose d'une cuve circulaire au centre de laquelle est fixé un abre vertical portant deux bras opposés, placés horizontalement et munis de palettes disposées en deux séries de telle sorte que les chemins parcourus par chacune d'elles se croisent pendant la rotation du système. Le mouvement de rotation est transmis à l'axe vertical par un engrenage d'angle placé au centre et sur le bâti supérieur. Au-dessus des palettes se trouve une vanne fixe destinée à rompre le courant pendant la marche de l'appareil. Comme il faut introduire une grande quantité de chaux dans la cuve, et que cette masse pourrait apporter obstacle à la rotation, par une ingénieuse disposition, on a rendu tout le système mobile, de façon à pouvoir l'élever ou le baisser suivant le besoin. Ce mouvement est obtenu au moyen d'un levier et d'une vis de commande placée à la main de l'ouvrier.

Voici maintenant comment se fait le travail: On met l'appareil en marche, puis on introduit dans la cuve, par petite quantité, 6 hectolitres de pierres cuites que l'on établit en couche régulière sur tout le fond. Le système de palettes étant au début à sa position inférieure sera remonté graduellement, au fur et à mesure que la couche de chaux prendra de l'épaisseur. Toute la chaux étant introduite, on arrête la marche de l'appareil, on met assez d'eau pour bien recouvrir la pierre, et on attend qu'elle soit parfaitement éteinte, ce qui demande en général 20 minutes. On remet alors l'appareil en route, et on suit une marche inverse de la précédente, c'est-à-dire que l'on opère la descente des palettes à mesure que la dissolution avance. Cette dissolution est complète quand les palettes sont revenues au point de départ: il ne reste plus dès lors qu'à étendre le lait de chaux jusqu'au degré voulu.

Pour ne pas introduire une trop grande quantité d'eau dans les jus par l'addition du lait de chaux, lorsqu'on fait usage des proportions considérables indiquées dans les nouvelles méthodes, il convient d'employer pour éteindre la chaux et la délayer du jus étendu de 50 % d'eau chaude. On ne force pas ainsi outre mesure le travail des appareils à évaporer, et

de plus les propriétés dissolvantes du jus pour la chaux facilitent beaucoup la confection du lait. Cela revient, d'ailleurs, à faire la défécation avec du sucrate de chaux, pratique souvent recommandée. Dans certaines usines ou emploie à la fabrication du lait de chaux les petites eaux des filtres qui rentrent ainsi dans le travail; nous ne pensons pas que ce mode de faire soit avantageux: il a pour conséquence de ramener dans les jus, à la défécation, la plus grande partie des impuretés enlevées par le noir dans les opérations précédentes.]

Souvent, il arrive que les fabriques ne peuvent pas avoir de la chaux récemment cuite; dans ce cas, elles ont avantage à préparer avant le commencement de la campagne toute la chaux nécessaire à leurs besoins. On l'éteint dans des bassins, de façon à en former une pâte solide que l'on emploie au fur et à mesure du travail. La chaux, de cette manière, se conserve très-bien et donne des résultats constants pendant toute la campagne. On peut également employer pour conserver la chaux le procédé suivant: on verse sur les fragments de chaux et par portions successives une petite quantité d'eau. La chaux se délite et passe à l'état de poussière qui ne se redissout plus ensuite. Cette chaux en poudre, contenant environ 24 % d'eau, se conserve dans des citernes en maçonnerie, et s'ajoute aux jus sous cette forme pulvérulente. Toutefois, la chaux absorbant l'acide carbonique de l'air, on comprend que, préparée de la sorte, elle perde une partie de ses propriétés pendant le cours de la campagne et ne vaille pas à cet égard la chaux préparée au fur et à mesure des besoins.

La quantité de chaux qu'on emploie pour la défécation varie de ½ à 1 % du poids des betteraves. La dose doit être au moins suffisante pour que la défécation se fasse bien et d'une manière complète, que le jus prélevé dans la chaudière n'accuse plus aucune coloration verdâtre, mais qu'il donne un liquide parfaitement clair et d'un jaune pur, dans lequel il ne reste que quelques flocons se séparant facilement.

Il est du reste facile, dans la pratique, de déterminer les quantités de chaux nécessaires, car le jus bien défèqué a une

coloration parfaitement caractéristique. D'autre part, si avec une cuillère on prend un échantillon de jus déféqué, il se produit une pellicule à sa surface, l'acide carbonique de l'air formant un carbonate avec la chaux que contient le jus. Cette pellicule est la preuve qu'on a employé assez de chaux, et constitue un caractère très-facile à constater.

Nous ajouterons d'ailleurs que, vers la fin de la campagne, on doit en général augmenter la proportion de chaux. Les jus des betteraves conservées longtemps contiennent en effet une proportion plus grande d'acides organiques qu'au début de l'hiver.

Le fabricant doit du reste régler la quantité de chaux à la défécation, de façon, non seulement à bien déféquer le jus, mais à réduire le plus possible la proportion des jus troubles au commencement et à la fin de la vidange. Le travail de ces jus présente en effet les plus grandes difficultés dans les phases ultérieures de la fabrication.

Il ne sera pas sans intérêt de rechercher sous quelle forme peut se trouver la chaux dans les jus déféqués et d'étudier la nature et l'importance des combinaisons dans lesquelles elle est engagée.

Supposons qu'un jus déféqué contienne, dans 100 parties, deux fois la proportion de chaux que peut dissoudre l'eau, soit deux fois 0,137 % ou 0,274 %. La différence avec la dose initiale de chaux, ½ à ¾ %, est donc restée dans les écumes.

Dans le jus, l'eau doit tout d'abord être saturée de chaux. Or, on sait qu'une partie de cette base se dissout à froid dans 730 parties d'eau, à chaud dans 1000 parties.

Sur 1000 de jus déféqué à 10 % de sucre nous avons 100 de sucre et 900 d'eau. Cette eau dissout donc 0,9 de chaux. (Ce chiffre est d'ailleurs un peu plus fort à froid par suite de la différence de solubilité).

Mais les 1000 parties de jus renfermaient, d'après l'analyse ci-dessus, 2,74 parties de chaux. Si l'on en défalque les 0,9 qui pourraient être en dissolution dans l'eau, il reste 1,84 pour 1000 ou 0,184 % de chaux combinée au sucre ou à l'état de sels calcaires dans le jus. Or, d'après Michaëlis, le sucrate

de chaux soluble dans le jus serait formé de 6,08 de sucre pour une partie de chaux. Les 100 parties de sucre contenues dans 1000 de jus exigeraient donc 16,7 parties de chaux. De ces chiffres on doit conclure immédiatement qu'une partie seulement du sucre total peut se trouver combinée avec la chaux.

Mais, ainsi que nous l'avons vu, on ajoute souvent aux jus 1 % de chaux. Comme on n'en retrouve que 0,274 dans les liquides défégués, il en résulte que 0,726 % sont passés dans les écumes. On serait donc porté à en conclure qu'une partie de la chaux est perdue et que la proportion utilisée et restant dans le jus n'augmenterait pas, quand même on forcerait la dose de chaux. Néanmoins, cette déduction n'est pas absolument exacte, et un excès de chaux peut présenter certains avantages dans la pratique. D'une part, en effet, les divers jus donnent naissance à des proportions de sels calcaires très-variables et, par suite, leur teneur en chaux est elle-même variable. Ainsi, les jus peuvent retenir de 1,5 à 2,5 fois la proportion de chaux que tient l'eau en dissolution. D'autre part, une dose de chaux un peu forte abrège singulièrement la durée de la défécation: les jus se purifient mieux, peut-être parce que l'excès de chaux, en se précipitant, entraine une partie des principes azotés du jus.

Cette hypothèse serait d'accord avec le principe qu'émettent si souvent les praticiens: plus on emploie de chaux, plus on retire de sucre. Cette règle expérimentale n'est d'ailleurs vraie qu'entre certaines limites, car, si l'on force trop la dose de chaux, la défécation donne des écumes très-volumineuses, à grains très-fins, dont il est ensuite difficile de retirer le sucre.

Tout les fabricants qui ont eu à traiter des betteraves de qualités différentes connaissent les difficultés, pour ne pas dire les impossibilités, que nous avons signalées plus haut et qui s'opposent à la production d'un jus parfaitement clair. Dans certains cas extrèmes, heureusement assez rares, on peut presque affirmer avec certitude que, plus on emploie de chaux à la défécation, moins on retire de sucre.

Aussi, tant qu'on ne sera pas arrivé à retirer le sucre des écumes à peu de frais et facilement, on devra éviter d'employer un excès de chaux, qui augmente la production de ces écumes. Le plus sage, avec les méthodes anciennes de défécation, est de limiter l'emploi de la chaux à la quantité strictement nécessaire pour un bon traitement du jus.

En suivant cette règle pratique, on s'assure un travail facile et régulier, sans allonger outre mesure la durée de chaque opération.

Si, d'ailleurs, le fabricant trouve qu'il est de son intérêt d'employer une plus forte proportion de chaux, il peut le faire plus commodément dans les phases ultérieures du travail qu'à la défécation même. Au moins, il se mettra de la sorte à l'abri des difficultés pratiques qui peuvent résulter d'une augmentation dans la proportion des écumes, et qui ont fait échouer, il y a déjà longtemps, le procédé de Rousseau.

On pourra, il est vrai, objecter que la défécation se fait mieux, que les principes azotés sont séparés d'une manière plus prompte et plus complète, lorsqu'on emploie de fortes proportions de chaux. Je l'admettrai volontiers, mais il est bien évident que la chaux, à doses égales, produira exactement le même effet, si on l'ajoute seulement au jus déjà défequé et si on maintient ce jus en ébullition avec la chaux pendant le même temps qu'à la défécation, c'est-à-dire 10 ou 15 minutes. Toute la question se réduit en réalité à choisir le procédé le plus facile et le plus pratique. Le but, comme l'effet utile, sont les mêmes dans les deux cas, mais tout l'avantage est du côté de la méthode de fractionnement recommandée par Michaëlis et dans laquelle on ajoute une grande quantité de chaux, mais en plusieurs fois. Cette méthode rend le travail plus facile, elle est plus rationnelle et en même temps d'un succès plus assuré, car elle revient en réalité à faire deux défécations successives au lieu d'une.

Ce serait du reste une erreur que d'attribuer une très-grande importance à l'emploi d'un peu plus ou d'un peu moins de chaux. Il suffit, pour s'en convaincre, d'examiner de plus

près l'action de la chaux au point de vue de la purification proprement dite des jus, et, à ce titre, je rappellerai les résultats de mes observations personnelles.

Déjà, en 1858, (Études sur la fabrication du sucre en Bohême, page 94), j'avais reconnu que la défécation n'enlevait au jus que 15 à 18 % des matières étrangères organiques ou minérales qu'il renferme.

Dans la campagne de 1862—63, je repris ces expériences (février 1863), et je trouvai, en ce qui concerne les matières azotées, que la défécation par la chaux n'en sépare que 7 à 12,3 % et que 44 parties sont séparées dans les autres phases de la fabrication.[1]

D'autre part, la chaux ne jouit pas de la propriété de séparer du jus les bases alcalines ou terreuses non plus que les éléments fixes. On est donc en droit d'en conclure que, en dehors de l'action préservatrice qu'exerce la chaux pour empêcher la fermentation, et en ne la considérant qu'au point de vue des précipités qu'elle donne, la défécation est loin de présenter les résultats avantageux qu'on lui suppose d'ordinaire.

J'ai du reste été confirmé dans cette manière de voir par les travaux de Grouven, suivant lequel la cuisson du jus seule (c'est-à-dire sans addition de chaux) sépare déjà à l'état insoluble $^1/_9$ soit 11 % des éléments azotés que renferme le jus. D'après le même chimiste, la défécation ordinaire par la chaux enlevant 18,5 % de la quantité totale de matières azotées du jus[2], on voit que l'effet de la chaux se réduit à éliminer 18,5—11 ou 7,5 % des matières azotées.

Ces chiffres ne sont certainement pas de nature à motiver une confiance illimitée dans la chaux comme agent de défécation; ils prouvent que son action n'est pas suffisante, et qu'elle est loin de tenir les espérances que l'on fonde sur elle quand on la préconise comme le seul principe qui puisse assurer le succès de la fabrication.

---

1) Journ. de l'assoc. des fab. allem. 88e livr.
2) Journ. de l'assoc. des fab. allem. 87e livr.

Aussi, tant qu'on ne sera pas arrivé à retirer le sucre des écumes à peu de frais et facilement, on devra éviter d'employer un excès de chaux, qui augmente la production de ces écumes. Le plus sage, avec les méthodes anciennes de défécation, est de limiter l'emploi de la chaux à la quantité strictement nécessaire pour un bon traitement du jus.

En suivant cette règle pratique, on s'assure un travail facile et régulier, sans allonger outre mesure la durée de chaque opération.

Si, d'ailleurs, le fabricant trouve qu'il est de son intérêt d'employer une plus forte proportion de chaux, il peut le faire plus commodément dans les phases ultérieures du travail qu'à la défécation même. Au moins, il se mettra de la sorte à l'abri des difficultés pratiques qui peuvent résulter d'une augmentation dans la proportion des écumes, et qui ont fait échouer, il y a déjà longtemps, le procédé de Rousseau.

On pourra, il est vrai, objecter que la défécation se fait mieux, que les principes azotés sont séparés d'une manière plus prompte et plus complète, lorsqu'on emploie de fortes proportions de chaux. Je l'admettrai volontiers, mais il est bien évident que la chaux, à doses égales, produira exactement le même effet, si on l'ajoute seulement au jus déjà défèqué et si on maintient ce jus en ébullition avec la chaux pendant le même temps qu'à la défécation, c'est-à-dire 10 ou 15 minutes. Toute la question se réduit en réalité à choisir le procédé le plus facile et le plus pratique. Le but, comme l'effet utile, sont les mêmes dans les deux cas, mais tout l'avantage est du côté de la méthode de fractionnement recommandée par Michaëlis et dans laquelle on ajoute une grande quantité de chaux, mais en plusieurs fois. Cette méthode rend le travail plus facile, elle est plus rationnelle et en même temps d'un succès plus assuré, car elle revient en réalité à faire deux défécations successives au lieu d'une.

Ce serait du reste une erreur que d'attribuer une très-grande importance à l'emploi d'un peu plus ou d'un peu moins de chaux. Il suffit, pour s'en convaincre, d'examiner de plus

près l'action de la chaux au point de vue de la purification proprement dite des jus, et, à ce titre, je rappellerai les résultats de mes observations personnelles.

Déjà, en 1858, (Études sur la fabrication du sucre en Bohême, page 94), j'avais reconnu que la défécation n'enlevait au jus que 15 à 18 % des matières étrangères organiques ou minérales qu'il renferme.

Dans la campagne de 1862—63, je repris ces expériences (février 1863), et je trouvai, en ce qui concerne les matières azotées, que la défécation par la chaux n'en sépare que 7 à 12,3 % et que 44 parties sont séparées dans les autres phases de la fabrication.[1]

D'autre part, la chaux ne jouit pas de la propriété de séparer du jus les bases alcalines ou terreuses non plus que les éléments fixes. On est donc en droit d'en conclure que, en dehors de l'action préservatrice qu'exerce la chaux pour empêcher la fermentation, et en ne la considérant qu'au point de vue des précipités qu'elle donne, la défécation est loin de présenter les résultats avantageux qu'on lui suppose d'ordinaire.

J'ai du reste été confirmé dans cette manière de voir par les travaux de Grouven, suivant lequel la cuisson du jus seule (c'est-à-dire sans addition de chaux) sépare déjà à l'état insoluble ⅓ soit 11 % des éléments azotés que renferme le jus. D'après le même chimiste, la défécation ordinaire par la chaux enlevant 18,5 % de la quantité totale de matières azotées du jus[2], on voit que l'effet de la chaux se réduit à éliminer 18,5 — 11 ou 7,5 % des matières azotées.

Ces chiffres ne sont certainement pas de nature à motiver une confiance illimitée dans la chaux comme agent de défécation; ils prouvent que son action n'est pas suffisante, et qu'elle est loin de tenir les espérances que l'on fonde sur elle quand on la préconise comme le seul principe qui puisse assurer le succès de la fabrication.

---

1) Journ. de l'assoc.

2) Journ. de l'assoc.

Je n'ai pas d'ailleurs eu la prétention, en étudiant l'effet réel de la chaux sur les matières azotées et en le traduisant en nombres, de refuser à cette base toute valeur dans la pratique: la chaux est au contraire toujours utile, souvent indispensable; j'ai voulu seulement démontrer que l'emploi d'un peu plus ou d'un peu moins de chaux ne saurait avoir les influences considérables qu'on lui assigne d'habitude. Aussi, au lieu de s'en tenir exclusivement à certaines doses de chaux, il serait certainement plus rationnel et plus conforme aux progrès de l'industrie de chercher un autre agent susceptible d'enlever aux jus la totalité ou la presque totalité des matières azotées. Cette découverte serait un point capital pour la fabrication et autrement important que des changements plus ou moins sensibles dans le mode d'emploi d'une matière qui ne sépare en réalité que très-peu de principes organiques, et dont l'effet et presque uniquement apparent.

J'ai le ferme espoir que, dans un avenir prochain, nous disposerons d'un agent plus efficace que la chaux, et je ne doute pas que tout progrès dans cette voie, fût-ce au prix d'une transformation coûteuse de matériel, ne représente une amélioration notable sur nos procédés actuels.

Jusque-là, et pour rester dans les conditions pratiques, nous nous bornerons à conseiller d'employer autant de chaux qu'on pourra le faire sans nuire à la bonne marche et à la rapidité des opérations. Mais, en réalité, il serait plus exact de donner à la défécation ainsi faite le nom de clarification et de chercher un autre procédé plus efficace de séparation des matières azotées.

Dans quelques fabriques, au début de chaque défécation, on ajoute un peu de chaux dans le jus, de façon à neutraliser l'influence nuisible des acides pendant l'échauffement jusqu'à 85°. Cette méthode ne présente aucun inconvénient et doit surtout être recommandée lorsqu'on travaille des jus de mauvaise qualité. D'autres fabricants font retourner dans la défécation suivante les jus provenant de la pression des écumes et les mélangent au jus nouveau.

Comme le jus des écumes est très-chargé de chaux, qu'il se trouve déjà à une température élevée, ce procédé rend les défécations plus rapides, et, par la présence de la chaux, empêche l'action des acides. Néanmoins, je ne saurais l'approuver sans réserve: une même portion du jus revenant toujours dans les chaudières peut y amener la fermentation muqueuse que la chaux ne saurait prévenir entièrement. Si l'on veut employer ce système, il conviendrait au moins, toutes les six heures, d'interrompre le roulement et d'envoyer directement tous les jus des écumes aux phases ultérieures de la fabrication.

Un autre inconvénient de cette méthode, c'est qu'elle rend plus difficile le contrôle des quantités de jus produites.

La durée de la défécation se détermine naturellement d'après la surface de chauffe et le volume des chaudières. Pour une quantité de 1,575^{k} de jus et 13^{k},5 de chaux, j'ai reconnu, dans un essai direct, qu'il fallait 55 minutes pour échauffer le jus de 5° à 75°, et 20 minutes pour le porter de 75° à 102°.

On voit que l'opération a exigé en tout 1 heure 15 minutes avec une surface de chauffe de 2^{mc},90. Il est facile d'ailleurs de calculer la différence des températures entre la vapeur et le jus. La vapeur qu'on employait était à 3 atmosphères, par suite sa température était à très-peu près 135°. Le jus, d'abord à 5°, était porté à 102°; sa température moyenne était donc $\frac{5 + 102}{2}$ soit 53°,5; par suite la différence des températures était 81°,5.

Or, le jus passant de 5° à 102°, la quantité totale de chaleur transmise est de 1,589 × 97 = 154133 calories pour 75 minutes, soit en une heure 123300 calories.

En rapprochant ce nombre de la surface de chauffe, on voit que chaque mètre carré de cette surface, pour la différence de 81°,5, a transmis par heure 41,700 calories, ou a vaporisé $\frac{4170}{634}$ ou 65^{k},8 d'eau. Krause admet que l'évaporation est de 75 k^{gs} par mètre et par heure, mais ce chiffre

ne parait pas toujours susceptible d'être atteint d'une manière assurée. D'après les tableaux dressés par Gall, avec la vapeur à 135°, la quantité de chaleur transmise est de 38000 cal. par mètre carré et par heure, ce qui se rapproche des nombres que j'ai trouvé.

Il convient toutefois de noter que souvent, avec des jus de mauvaise qualité, il se forme sur les parois des chaudières un dépôt compact qui diminue notablement la transmission de la chaleur. Lorsque cet inconvénient se présente, on y remédie en installant un agitateur qui maintient en mouvement les couches de liquide en contact avec les parois. Cette précaution a en outre comme résultat de favoriser l'échauffement régulier du liquide.

En faisant abstraction de ces circonstances exceptionnelles, rien n'est plus simple que de mener la défécation d'une manière rationnelle.

Jusqu'à présent, dans presque toutes les fabriques, on a des chaudières à déféquer de même dimension, que l'on travaille 50,000 ou 150,000 k^{os} de betteraves par 24 heures. Ce mode d'installation est évidemment irrationnel, et il est facile d'établir les règles qui doivent servir de guide pour la dimension des chaudières. Je les indiquerai brièvement. — Le jus de la betterave est, comme nous le savons, exposé à subir des altérations d'autant plus graves qu'il est resté plus de temps avant d'arriver à la défécation. Cette opération doit donc se faire aussi promptement que possible et, pour qu'elle donne toujours les mêmes résultats, il faut que, dans toutes les fabriques, elle se fasse dans le même temps. Or, pour arriver à cette égalité, la première condition est que les chaudières soient emplies dans le même temps. Donc, le volume des chaudières de défécation doit être proportionnel à la quantité de betteraves mises en œuvre.

On évitera ainsi les différences que l'on observe maintenant. Dans les petites fabriques, chaque chaudière ne s'emplit qu'au bout d'une heure et demie, tandis que, dans les grandes, elle est pleine en une demi heure.

Si l'on part de ce principe, qu'il importe de faire la défécation aussi promptement que possible, on reconnaîtra qu'une demi-heure suffit pour l'emplissage d'une chaudière défé quée. Or, pour une usine qui traite par jour 50,000 k^os de betteraves, la quantité de jus à défé quer comptée à 90 % est de $\frac{45,000}{44}$ ou 1025 k^os par demi-heure. La chaudière doit donc avoir un volume de 10 hectol. ¼, indépendamment de l'espace qu'on laisse vide d'ordinaire au-dessus du jus. La dimension des chaudières se calculera de même pour tous les autres cas. Quant à la surface de chauffe, elle est facile à déterminer, sachant que le jus doit être échauffé de 95° environ: pour 1025 k^os de jus, il faudra 1025 × 95 ou 97,325 calories; or, chaque mètre carré de surface de chauffe transmet, comme nous l'avons dit plus haut, 40,000 calories à l'heure ou 20,000 par demi-heure. Il faudra donc une surface de 2^m.q.,43 pour que la défécation s'achève en une heure, ou de 4^m.q.,86, si l'on veut que l'opération ne dure qu'une demi-heure.

Il importe de remarquer ici que, dans les chaudières à défé quer, le double-fond offre à l'air une surface chauffée à peu près équivalente à la surface en contact avec le jus à l'intérieur. Il est donc essentiel de protéger les parois extérieures contre le refroidissement en les revêtant d'enveloppes convenables. Il est également essentiel d'expulser du double-fond l'air qui diminuerait dans une forte proportion la transmission de la chaleur. A cet effet les appareils sont, comme nous l'avons dit, munis d'un robinet d'air dont la prise est aussi haut que possible et que l'on maintient ouvert pendant qu'on introduit la vapeur. Si, au lieu de doubles-fonds, en employait pour chauffer le jus des tuyaux en forme de serpentin de 25 à 40^m.m de diamètre, on pourrait réduire sans inconvénient la surface de chauffe calculée plus haut, car un serpentin transmet par heure et par mètre carré au moins 60,000 calories, il ne faudrait donc, pour échauffer en une heure 1025 k^os de jus, que 1^m.q.,68 ou 1^m.q.,70 de surface. En même temps qu'on réduirait la surface de chauffe, on réaliserait une économie sur l'instal-

lation, car ces sortes de tuyaux, à résistance et à conservation égales, peuvent être faits en cuivre beaucoup plus mince et partant moins coûteux. Il est vrai qu'avec un serpentin les nettoyages journaliers sont un peu plus difficiles, mais cet inconvénient n'a qu'une importance assez faible, surtout si l'on a soin d'enlever les écumes par en haut avant de faire écouler le jus défèqué, de façon que les matières solides ne puissent pas former sur le tuyau des depôts adhérents.

Dans les installations rationnelles, les tuyaux sont complètement noyés dans le jus, et la chaudière elle-même est en tôle.

Quelles que soient la forme et la grandeur des appareils employés, la défécation du jus exige une quantité théoriquement déterminée de chaleur et par suite de combustible. Si l'on met en œuvre par jour 50,000 k^{os} de betteraves, en admettant 90 % de rendement comme jus et 10 % d'addition d'eau à la râpe, on a par jour 50,000 k^{os} de jus à échauffer de 95°,5, soit 4,775,000 calories à fournir. Si l'on admet qu'un kilog. de charbon vaporise théoriquement 10 k^{os} d'eau, et que l'effet utile soit de 70 %, chaque kilog. produira environ 4450 calories utilisées. Il faudra donc dépenser pour le travail au minimum $\frac{4,775,000}{4450}$ soit 1070 kilog^{os} de charbon par jour.

Il est facile dès lors d'évaluer la dépense de l'atelier de défécation:

1070 k^{os} de charbon à 36^{f} la tonne coûtent . . .	38^{f},52
Pour déféquer le jus de 50,000 k^{os} de betteraves en 24 heures, il faut 7 journées ¼ d'ouvriers, ce qui à 1^{f},20 représente	8^{f},70
Pour le service des presses à écume il faut 4 ouvriers ½, soit à 1,20 par jour et par ouvrier	5^{f},40
Pour les débourbeurs d'écume 2 journées	2^{f},40
La quantité de chaux employée pour la défécation représente à peu près	9^{f},20
Total . . .	64^{f},22

Report . . .	64f,22
Les frais d'entretien et réparation des chaudières à déféquer et des filtres représentent environ par jour	20f,00
On voit que la défécation de 45,000 k^os de jus et de 5,000 k^os d'eau coûte à peu près	80f,22
Soit pour 1000 k^os de jus à déféquer	1f,78

A ce chiffre il conviendrait d'ajouter les frais d'amortissement, d'éclairage, etc. On devrait en outre faire entrer en ligne de compte la perte de jus qui s'élève à 3½ ou 4 %.

Quant à l'importance de la purification des jus qu'on obtient à ce prix, cette question a déjà été traitée plus haut, et il serait oiseux d'y revenir. J'ajouterai seulement qu'on ne saurait avoir qu'une confiance médiocre dans les résultats des essais comparatifs du jus avant et après défécation. Ces essais se font avec le polarimètre et le saccharimètre. Or, d'une part, la chaux diminue les propriétés polarimétriques du sucre auquel elle se combine. Ainsi, d'après Michaëlis, sur 6p,08 de sucre, 1p,25 cesse d'être sensible au polarimètre. L'on ne trouve donc qu'une richesse saccharine réduite dans cette proportion. D'un autre côté, la présence de la chaux augmente la densité de la liqueur et l'aréomètre indique toujours un degré trop élevé. Ainsi, d'après Franck, 3 p. de chaux dans le liquide équivalent, au point de vue de la densité, à 10 parties de sucre.

Il serait certainement difficile, dans cette phase de la fabrication, de déterminer d'une manière pratique et rapide, sans calculs compliqués, le degré de pureté gagné par le jus. Le plus simple consiste à saturer d'abord la chaux du jus par l'acide carbonique et à évaluer ensuite l'amélioration constatée dans le jus.

Or, pour arriver à ce résultat, le procédé le plus commode est de ramener le jus neutralisé à une densité constante 1,05 par exemple (densité qui correspond à la solution demi-normale de Ventzke), et de faire l'essai au polarimètre. En multipliant le résultat par 2, on connaît immédiatement combien le jus renferme de sucre sur 100 parties de matières solides,

La différence entre les résultats trouvés pour le jus brut et le jus déféqué, puis saturé, donne immédiatement la mesure de l'épuration du jus.

On peut aussi partir de jus à la densité de 1,067 qui correspond à la proportion de 16^{g},35 par 100 centim. cubes, et par suite, à la dissolution normale du polarimètre de Duboscq et permet de lire directement sur l'appareil le degré de pureté du jus.

Le choix de ces densites 1,05 ou 1,067 n'est d'ailleurs pas indifférent à un autre point de vue: il offre cet avantage que tous les jus de la fabrique peuvent y être ramenés par une simple addition d'eau, tandis que, si l'on voulait opérer sur des jus à la densité de 1,1, on se trouverait entrainé dans des opérations de concentration longues et délicates.

Le degré d'épuration des jus à la défécation est très-variable; il arrive souvent qu'il se forme pendant la réaction des sels de chaux, en quantité telle que, sur 100 parties de matières solides, on ne trouve guère moins de matières étrangères après la défécation qu'avant.

Nous avons parlé plus haut du moyen de retirer le jus sucré des écumes de la défécation, mais il convient de ne pas terminer ce chapitre sans entrer dans quelques considérations sur l'importance de la perte en sucre par le fait des écumes. C'est une question qui doit préoccuper tous les fabricants, et la Société de ceux du Zollverein a même proposé un prix pour la meilleure manière de séparer le jus des écumes. Si louable que soit cette initiative pour amener la solution d'un problème assez difficile, il est à regretter que le programme même de la question ait semblé la restreindre aux progrès de la construction des appareils mécaniques. C'est du moins ce qui est arrivé et c'est dans cet ordre d'idées qu'on a proposé le turbinage des écumes, les turbines étant aujourd'hui fort à la mode dans notre industrie, puis les filtres-presses.

Si la question avait été posée d'une manière plus générale, si, par exemple, on l'avait ainsi formulée: quels sont les moyens les plus simples et les plus économiques de retirer le sucre

des écumes de la défécation, la solution eût été beaucoup plus facile, et eût sans doute mieux répondu aux besoins des fabricants. Elle eût probablement mis en relief, au lieu de machines coûteuses, un mode de travail des écumes plus simple et plus avantageux. L'intérêt de l'industrie sucrière est aujourd'hui, ce me semble, de travailler avec des installations moins compliquées et plus simples, beaucoup plus que d'ajouter encore de nouveaux appareils à son matériel. Or, pour atteindre ce but, ce ne sont pas les moyens qui font défaut, mais la science de les mettre en œuvre. C'est donc dans cet ordre d'idées qu'il importe de diriger les recherches.

En se plaçant à ce point de vue pour la question qui nous occupe, l'extraction du sucre des écumes, il convient avant tout de préciser clairement la perte réelle de sucre qu'entraine le travail actuel.

Dans un essai portant sur 1,575 kilos de jus, j'ai obtenu 53 kilos d'écume pressée au taux d'humidité habituel. Ce chiffre correspond, pour 100 kilos de jus, à 3% environ d'écume pressée.

L'écume, dans ces conditions, ne contient souvent que 36 % d'eau, mais, en nous plaçant dans le cas le plus défavorable, admettons qu'elle en conserve 50 %. Les 53 k^{os} d'écumes correspondent donc à 26^{k},5 d'eau. Or, si l'on prend comme composition du jus 12 % de sucre pour 88 d'eau, on voit que les 53 kilos d'écume retiendront une proportion de sucre donnée par le rapport $\frac{12}{88} \times 26{,}5$ ou 3^{k},6 de sucre.

Une chaudière de 1,575 kilos de jus à 12 % de richesse contient en tout $\frac{1575 \times 12}{100}$ ou 189^{k},06 de sucre; la perte de 3^{k},6 dans les écumes représente donc moins de 2%. Encore nous sommes-nous placés dans les conditions les plus défavorables. Si les écumes n'avaient eu que 36 % d'humidité, le poids de 53 k^{os} correspondrait à 19 k^{os} d'eau environ et, en admettant que le jus renfermât 10 % de sucre, la perte n'eût été que de 2^{k},75 par chaudière, soit 1 ½ % du sucre total renfermé dans le jus.

Cette perte est due à une action purement mécanique et peut, comme nous le verrons plus tard, être réduite dans une forte proportion. Mais la défécation peut entraîner une perte de sucre d'une autre nature, le sucre pouvant se combiner chimiquement avec la chaux.

En se fondant sur les considérations développées plus haut, il est facile d'évaluer le chiffre maximum de la perte provenant de ce chef, en se plaçant dans les conditions les plus défavorables: chaque défécation fournit, comme nous l'avons vu, sur 1575 kilos de jus, 53 kilos d'écume qui contiennent 50 % d'eau ou $26^k,50$, et $26^k,50$ d'écume sèche. Or, d'après l'analyse des écumes sèches de défécation, analyse que nous avons reproduite plus haut, cette matière renferme 17 % de chaux caustique, soit pour $26^k,5$ de résidu $4^k,5$ de chaux. D'autre part, nous avons vu dans un chapitre précédent qu'à une température voisine de l'ébullition, le sucre en dissolution se combine avec la chaux pour donner un sucrate composé de trois atomes de chaux et un de sucre ou, en poids, de 84 de chaux pour 171 de sucre. Cette combinaison se précipite en se coagulant comme un corps albumineux. Si une réaction de cette nature se passe dans la chaudière de défécation, les $4^k,50$ de chaux rendront insolubles $4,5 \times \frac{171}{84}$ de sucre ou $9^k,16$, et cette quantité passant dans les écumes sera donc éventuellement perdue pour la fabrication.

Toutefois, dans les conditions et à la température où se fait la défécation, cette perte provenant de l'action chimique ne saurait se produire, ou tout au moins, elle est loin d'atteindre les proportions indiquées plus haut, car tous les essais révèlent dans le jus déféqué plus de sucre qu'il n'en pourrait rester si la chaux en retenait une aussi forte proportion. D'autre part, avec les méthodes nouvelles de défécation, on devrait trouver des déficits de sucre considérables et obtenir un rendement d'autant plus faible que l'on aurait employé plus de chaux. Or, ce sont des faits que contredit l'expérience journalière.

Du reste, si en réalité, et par suite de conditions particulières du travail, on avait à craindre une perte de sucre semblable, le fabricant aurait à sa disposition un moyen aussi simple qu'économique de retrouver ce sucre dans les écumes, il suffirait d'y neutraliser la chaux par l'acide carbonique. La formation d'un carbonate de chaux remettrait le sucre en liberté et cette substance, n'étant plus retenue par des questions d'affinité chimique se redissoudrait. Il suffirait donc de filtrer et d'évaporer la solution pour obtenir intégralement toute la matière utilisable des écumes.

Cette saturation de la chaux dans les écumes par l'acide carbonique ferait évanouir entièrement toutes les craintes d'une perte en sucre. Elle aurait d'ailleurs de nombreux avantages. Le carbonate de chaux se précipitant en grains, la séparation mécanique du jus et des écumes par l'égouttage, la pression, etc., se feraient beaucoup plus facilement. D'autre part, les sacs à écume ou les toiles auraient moins à souffrir du contact prolongé avec la chaux. Enfin, le carbonate de chaux restant dans les tourteaux n'exercerait pas sur les autres matières azotées des écumes une action aussi énergique que celle de la chaux. Les écumes gagneraient donc notablement en valeur comme engrais, car aujourd'hui, si on les conserve sans précaution, elles perdent, avant d'être mises dans le sol, une grande partie de leurs propriétés actives.

[Il ne faut cependant pas perdre de vue que l'action de l'acide carbonique sur les boues de défécation pourrait avoir comme conséquence de redissoudre une grande partie des impuretés organiques séparées des jus par les opérations précédentes. La carbonatation des écumes devrait donc être conduite avec les plus grandes précautions.]

Il suffirait d'ailleurs, pour mettre ce procédé en pratique, de transformer les chaudières à cuire les écumes en chaudières à saturer et d'étendre les matières à traiter d'une grande quantité d'eau, ce qui faciliterait la séparation du carbonate de chaux. Nous verrons plus tard comment cette installation pourrait se faire sans nouvelles dépenses. Il est vrai que la

quantité d'acide carbonique nécessaire pour le traitement serait assez considérable, mais les fabricants ont à leur disposition des sources économiques d'acide carbonique d'une pureté suffisante pour les besoins de ce travail.

Nous pouvons donc admettre, d'après ce qui précède, que, dans la défécation, la perte de sucre due aux actions chimiques, si elle se produit, peut être facilement récupérée. Nous n'avons donc à nous préoccuper que de la perte due aux actions mécaniques, perte dont on ne saurait contester l'existence.

La quantité de sucre que retiennent mécaniquement les écumes est trop faible pour qu'on ait intérêt à faire subir à ces matières une main-d'œuvre coûteuse, la question est surtout d'en séparer le sucre par le mode le plus économique.

Il n'y a pas évidemment lieu de chercher de nouvelles machines, la presse hydraulique ou les presses-filtres donnent déjà un résidu aussi sec que le permet la nature de la matière à traiter. Or, si l'on se place dans cet ordre d'idées, le seul moyen pratique de séparer le sucre est dans la macération ou l'épuisement par l'eau. On a cherché depuis longtemps, Robert entre autres, à soumettre les écumes à une macération rationnelle: on faisait circuler de l'eau pure dans les appareils en sens inverse des écumes, et on laissait écouler les résidus à l'état pour ainsi dire liquide. Ce système donnait lieu dans la pratique à de nombreux inconvénients, mais je crois qu'il serait facile de les faire disparaître moyennant un très-léger changement: il suffirait, après avoir laissé égoutter les écumes de manière à en retirer l'excès de jus, au besoin après saturation, d'étendre le résidu d'une forte quantité d'eau, de faire macérer le tout, puis de laisser égoutter et de presser. Il est clair que le jus retenu dans les tourteaux conservera d'autant moins de sucre que le liquide aura été plus étendu. Mais, si l'on voulait employer pour cette dilution ou pour tout autre mode de macération de l'eau pure, les frais d'évaporation dépasseraient de beaucoup le bénéfice qu'on peut espérer de cet épuisement de la pulpe. Je crois donc qu'il conviendrait, pour

ce lavage de la pulpe, de recourir aux eaux de dégraissage des filtres, qu'il faut, en tout état de cause, envoyer aux appareils évaporatoires.

Pour un travail journalier de 50,000 k^{os} de betteraves et 20 % de noir soit 10,000 k^{os}, on obtient au moins 10,000 k^{os} d'eau de lavage des filtres marquant de 1° Baumé à 1° ½. D'autre part, l'écume de 45,000 k^{os} de jus représente, avant pression, à 10 %, 4,500 k^{os} de résidus. Comme d'ailleurs la matière sèche des écumes ne forme que 1½ % du poids du jus, on voit que les 4,500 k^{os} d'écumes humides contiendront 700 k^{os} de matière solide, et 4,500 — 700 ou 3,800 k^{os} de jus. Or, si on mélange

3,800 k^{os} de jus à 13% Balling dans les écumes avec
10,000 k^{os} de jus à 2% Ball. des eaux de dégraissage
on obtient 13,800 k^{os} de jus à 5 % Balling.

En pressant ces écumes après épuisement, le résidu sera de 30 % du poids des écumes soit 1350 kilos et, en admettant qu'il contienne 40 % d'eau, on aura, pour le poids des jus dilués perdus avec les tourteaux, 540 kilos.

Il est facile, dans ces conditions, d'évaluer la perte réelle en sucre rapportée au poids total du produit de la journée. Les 45,000 k^{os} de jus contenaient à 12 % 5,400 kilos de sucre. D'autre part, les 540 kilos de jus des écumes à 5 % représentent $540 \times \frac{5}{95}$ ou 28,4 de sucre. La perte est donc de $\frac{0,57}{1000}$ en la rapportant au poids de betteraves ou, en rapportant au poids du sucre fabriqué, $\frac{0,6}{100}$. Enfin, la betterave étant supposée contenir 12 % de sucre la perte provenant du travail des écumes sera 0,073 %.

On voit que la perte réelle de sucre à la défécation, perte qui, d'après mes premières évaluations, était de 2 à 1½ % du sucre total se trouve réduite à 0,6 %, et c'est un chiffre assez faible pour qu'il n'y ait aucun intérêt à chercher à le réduire encore par de nouvelles opérations.

On peut, pour faciliter le travail et augmenter le gain en sucre, recevoir les écumes troubles dans un récipient à double fond muni d'une toile formant filtre. Le jus s'écoule alors d'une manière plus complète avant la macération, et le résidu qui reste sur le filtre n'atteint pas 10 %; c'est alors seulement qu'on ajoute les eaux des filtres. On sature ensuite et on envoie le tout aux filtres-presses qui opèrent rapidement la séparation du liquide et donnent des tourteaux secs et compacts.

Les eaux de lavage des filtres sont, comme nous le verrons plus tard, généralement de mauvaise qualité. Le mode de travail que je propose aurait pour résultat de les faire repasser à la saturation, par suite de les purifier et d'augmenter leur teneur relative en sucre.

Il est évident du reste qu'en opérant comme nous venons de le dire, on ne grève pas l'usine de frais nouveaux, et qu'on ne peut au contraire qu'améliorer le travail, si l'on a soin de ne précipiter l'excès de chaux dans les écumes par l'acide carbonique, de ne saturer en un mot, qu'après l'addition des eaux de dégraissage.

Chapitre II.

Défécation par la méthode de Frey et Jellinek.

Dans ces dernières années, MM. Frey et Jellinek ont fait connaître un nouveau procédé de défécation. La simplicité de leur méthode et la beauté des résultats qu'elle fournit sont de nature à en justifier une étude spéciale et complète dans le présent chapitre.

Toutefois, avant de décrire le procédé lui-même, il ne sera pas sans intérêt d'en présenter l'histoire, le point de départ et les perfectionnements successifs, en profitant des divers documents publiés à ce sujet. C'est une étude utile que de suivre les travaux de diverses personnes occupées d'un même point de la science et cherchant le progrès dans la même voie: on

apprend ainsi comment les discussions développent de part et d'autre et murissent les idées en germe, comment de ce concours de forces intelligentes dirigées vers un même but résultent pour l'industrie des progrès souvent merveilleux.

L'histoire montre presque toujours que chaque procédé industriel nouveau est dû à plusieurs inventeurs travaillant à la fois à le perfectionner, et, sans rabaisser en rien le mérite de celui qui, le premier, réalise les conditions pratiques d'une découverte, la met en lumière, il serait injuste de laisser dans l'oubli ceux dont les travaux l'ont secondé en traçant la voie de ce progrès.

Le procédé de défécation qui nous occupe se présente dans des conditions analogues. Il consiste essentiellement à ajouter aux jus, et à basse température, une dose de chaux plus forte que dans le procédé ordinaire pour la précipiter ensuite, au-dessous du point d'ébullition à l'aide de l'acide carbonique. Or, ainsi défini, ce procédé n'est, ce me semble, qu'une réalisation pratique et heureuse de la méthode de Maumené qui, longtemps avant, recommandait l'addition de 2 à 5 % de chaux au jus naturel, à froid. Il est vrai qu'au début Maumené n'avait en vue, comme application essentielle de sa méthode que la conservation prolongée du jus brut, (voir tome I); mais, pour quiconque a fait quelques essais sur cette méthode, il est incontestable que les jus ainsi traités, puis clarifiés ensuite à basse température par la saturation ou la défécation, avaient une nature excellente et surtout une nuance très-claire. Maumené admettait d'abord que l'on devait élever la température jusqu'à 72 ou 85°, mais il alla bientôt plus loin, en recommandant, de laisser le jus brut en contact avec cet excès de chaux pendant 12 heures ou même pendant 6, et de le saturer à basse température.

La discussion qui se produisit à cette époque dans les journaux, sur la méthode de Maumené, fut loin de présenter la convenance et la dignité qu'exigeaient la science et l'importance du sujet, mais le reproche d'inconséquence qui fut adressé à Maumené est difficile à admettre. Le changement qu'il intro-

duisait dans son procédé primitif n'était que le développement de son idée mieux murie. C'était, pour ainsi dire, un pas en avant, pas qu'avaient peut-être déterminé les discussions elles-mêmes.

Le mérite de MM. Frey et Jellinek consiste donc seulement à avoir encore réduit cette durée de six heures pour l'action de la chaux sur le jus froid et à avoir montré qu'on pouvait saturer immédiatement, à basse température, le jus additionné de 2 % ou plus de chaux. M. Jellinek dit lui-même, dans sa brochure, (page 22, Prague 1864), que le point essentiel et délicat de toute l'opération est le suivant:

"Ajouter au jus de betteraves, autant que possible froid, plus de chaux qu'il n'en faüt pour former un sucrate de chaux simple et décomposer ensuite cette combinaison par l'acide carbonique à une température inférieure à celle de l'ébullition." C'était en réalité ce qu'admettait aussi Maumené.[1] Quant à la manière de conduire l'opération, et notamment en ce qui concerne l'idée de saturer le jus immédiatement après l'addition de la chaux, le procédé Frey-Jellinek est certainement supérieur, puisqu'il permet d'éviter les transvasements du jus dans des bacs intermédiaires et toute une série d'opérations désagréables.

---

1) Il me semble, du reste, que le procédé Frey-Jellinek n'était point brévetable, car la dose de chaux qu'on ajoutait aux jus variait déjà auparavant de ½° o, (défécation ordinaire), à 5 % (Maumené); on ne pouvait donc bréveter l'emploi de la chaux dans des proportions comprises entre ces limites.

La température à laquelle on ajoutait la chaux était souvent la température ambiante de l'air, puisqu'on l'ajoutait, soit à la râpe, (Galland), soit immédiatement après la pression (Maumené).

La température de défécation variait déjà depuis 72° (Maumené), jusqu'à 92° (Michaëlis), et 102° (défécation ordinaire).

Quant à la précipitation de la chaux dans la chaudière de défécation elle-même, elle avait été déjà proposée, nombre d'années avant, par Schatten et Kuhlmann, et elle était entrée dans la pratique. Ce dispositif, dont les dessins avaient même été reproduits par la lithographie, était donc depuis longtemps dans le domaine public. Si ce procédé ne se généralisa pas, la cause en est due seulement à la difficulté qu'on éprouvait, avec les appareils dont on disposait alors, à traiter les écumes que cette méthode fournit en quantité. — Sans l'invention des filtres-presses, le procédé de Frey et Jellinek n'eût pas, lui non plus, pu compter sur un succès pratique.

C'est un fait curieux que la théorie de ce procédé n'ait pas été exposée et établie par l'inventeur aussi clairement ni aussi complètement qu'on pouvait s'y attendre; il ne fait reposer son système sur aucune base scientifique et il semble dès lors que ce n'ait été qu'un perfectionnement empirique.

A mon point de vue, le point capital et précieux de la nouvelle méthode est la basse température à laquelle s'effectue la défécation. Nous avons déjà vu, (1er volume), que d'après les essais d'Hochstetter, une dissolution de sucre de canne contenant trace d'une autre variété de sucre, se colore instantanément, lorsqu'on la porte à l'ébullition en présence de l'eau de chaux ou des alcalis.

Or, dans l'arrière-saison, les betteraves contiennent très-souvent, et en proportion plus ou moins forte, du sucre sous une forme différente de la variété cristallisable. On doit donc nécessairement obtenir des jus moins colorés si on ne les chauffe qu'à une température modérée en présence de la chaux. Effectivement, on obtient avec ce procédé, même à la fin de la campagne, des jus très-clairs, tandis qu'avec l'ancien mode de défécation, l'élévation de la température donne toujours des liquides d'une nuance plus ou moins foncée.

D'autre part, en opérant à basse température, on évite l'influence fâcheuse qu'exercent sur le sucre, à une haute température, les alcalis libres. Or, cette action fait perdre à une partie du sucre son pouvoir polarisant, ainsi que l'ont démontré les travaux de Michaëlis.

Mais l'action la plus importante de la chaux employée en excès est assurément celle qu'elle exerce, déjà à froid, et surtout à chaud, sur les combinaisons azotées du jus. Ces matières se trouvent décomposées et détruites. Déjà, à propos du procédé de Maumené, nous avons insisté sur ce point; nous nous bornerons à ajouter ici qu'en vue de cette action, il est avantageux de mélanger aussi complètement que possible le lait de chaux avec le jus, et de laisser les matières ainsi mélangées en contact aussi longtemps que possible. Ce sont des conditions auxquelles on n'attache pas en général une importance suffisante.

La quantité de chaux, vive à ajouter au jus est, d'après Jellinek, (p. 17 de sa brochure), d'au moins 2 % du poids des bétteraves. L'inventeur motive ce chiffre en admettant que le jus contient comme sucre 12 % du poids de la betterave et qu'un rendement de jus de 80 % représente par suite 9,6 % de sucre dans la chaudière à défequer. Or, 171 p. de sucre pouvant dissoudre 25 p. de chaux, il faudrait, 1,57 % de chaux pour transformer en sucrate de chaux la totalité du sucre. Mais l'expérience indique que cette proportion ne suffit pas; il faudra donc ajouter un excès de chaux, variable suivant la quantité d'éléments étrangers que renferme le jus. On arrive ainsi à une dose de chaux représentant 2 % pour les bonnes betteraves; dans des conditions exceptionnellement défavorables, cette proportion peut aller jusqu'à 4 %.

Il serait à désirer que l'inventeur pût donner des indications plus précises en ce qui concerne le rapport à maintenir entre les éléments étrangers du jus et la proportion de chaux à ajouter, en dehors de celle nécessaire pour la formation du sucrate. Il est évident en effet que les acides organiques et divers autres éléments interviennent dans cette question de dosage.

La forte proportion de chaux qu'on emploie est ensuite, comme nous l'avons dit, séparée à l'état de carbonate. Or, une partie des matières organiques se trouve enveloppée par le sel qui se forme ou entrainée avec lui dans le précipité en vertu de l'adhérence moléculaire. Le jus se trouve ainsi en même temps clarifié et réellement dépouillé de ces substances qui représentent environ la moitié des matiéres organiques azotées. C'est un résultat analogue à celui qu'on obtient dans la double carbonatation de MM. Périer-Possoz, et comme, dans ce dernier cas, on ne saurait nier cette théorie de l'attraction moléculaire exercée par la chaux en se précipitant, il est probable que la même loi peut expliquer ce qui se passe dans le procédé Jellinek.

Les fabriques qui ont adopté le système de travail d'après la méthode Frey-Jellinek ont dû modifier en conséquence leurs anciennes chaudières de défécation. Une surélévation de

0m,75 donnée aux hausses suffit pour loger les mousses, tout en saturant dans la chaudière même de défécation la quantité de jus habituelle. Pour l'injection de l'acide carbonique, on dispose ordinairement vers le fond un tuyau de 0m,10 de diamètre en communication avec la pompe à gaz, et percé dans l'intérieur de la chaudière d'un grand nombre de petits trous. La somme de ces orifices, par lesquels l'acide carbonique arrive en contact avec le liquide, doit représenter à peu-près le double de la section du tuyau.

La disposition que nous venons de décrire est très-commode pour la transformation des fabriques déjà montées; mais, dans une installation nouvelle, il serait préférable d'adopter, pour les chaudières de défécation, la forme plus rationnelle représentée dans les figures 112 et 113.

Fig. 112.

Ces chaudières sont en tôle recouverte à l'intérieur d'un émail blanc qui permet de les maintenir toujours parfaitement propres. Leur forme permet, comme on le voit, de les disposer les unes près des autres, et, tout en offrant un très-grand volume, elles tiennent moins de place et utilisent mieux l'espace que l'ancienne forme circulaire.

Le jus est chauffé par des serpentins *a a* dans des conditions infiniment plus rationnelles qu'avec les doubles-fonds qui laissent perdre la chaleur par la moitié de leur surface, et dont l'intérieur est, comme on le sait, dans les conditions les plus défavorables à la transmission de la chaleur. Enfin, les serpentins coûtent moins cher d'installation.

Les tuyaux *a* sont entièrement noyés dans le jus, ce qui assure une transmission de la chaleur rapide et complète. Le nettoyage est d'ailleurs très-facile.

b est un tuyau de grand diamètre pour l'acide carbonique. Ce tuyau peut s'enlever facilement, et, comme il est droit, il suffit, pour son nettoyage, de défaire la plaque de l'extrémité.

Fig. 113.

c c sont deux plaques en tôle perforée, montées à charnière sur les côtés de la chaudière, et qui se rabattent de façon à assurer une division plus complète, par conséquent une utilisation meilleure du gaz acide carbonique.

d, robinet d'épreuve qui permet de prélever un échantillon du jus et d'apprécier sûrement le degré de saturation quand on en a besoin; *e*, thermomètre engagé dans la chaudière pour contrôler la marche de la température; *f* soupape à volant d'admission dans le serpentin pour la vapeur; *g* robinet pour l'évacuation de l'eau provenant de la condensation de la vapeur; *h* robinet d'épreuve pour s'assurer qu'il ne pénètre pas de jus

dans le serpentin et que les joints sont bien étanches; *i* robinet de vidange.

Fig. 114.

Ce mode de construction est incontestablement plus rationnel que les chaudières en cuivre dont le prix est plus élevé et qu'on cherche à réaliser aujourd'hui pour le matériel des usines.

Parmi les dispositifs de chaudières adoptées pour la méthode qui nous occupe, nous citerons celui de la fig. 114 qui remplit parfaitement toutes les conditions exigées pour le travail.

La chaudière est à double-fond et la vapeur s'introduit entre les enveloppes *a* et *b* par le tuyau *c*. Comme dans les appareils ordinaires de défécation, un tuyau *f* permet d'expulser l'air au début, et l'eau produite par la condensation de la vapeur s'écoule en *d*. Dans l'intérieur de la chaudière se trouve le tuyau d'amenée *o* du gaz acide carbonique. Comme dans l'appareil représenté fig. 113, ce tuyau est percé d'un grand nombre de trous et un robinet *h* permet de régler ou de supprimer l'injection de gaz. Sur le tuyau qui amène le gaz se branche un tuyau de vapeur *i*, à l'aide duquel l'ouvrier peut envoyer dans l'intérieur de la chaudière de la vapeur directe. A la partie supérieure de la chaudière se trouve un autre tuyau également en communication avec les conduites de vapeur et percé de trous, qui fonctionne comme brise-mousses. — Pour éviter les projections de liquide et les buées qui se dégagent, la chaudière est recouverte par un couvercle *m* sur lequel est ménagé le trou d'homme *o* pour les nettoyages. Enfin, une cheminée *n* entraîne hors de l'atelier les vapeurs et le gaz non absorbé dans l'appareil.

Cette installation, quoique très-rationnelle, ne saurait être recommandée que dans une installation nouvelle, mais les anciennes fabriques peuvent, en vue du procédé Frey-Jellinek, utiliser, sans leur faire subir aucun changement, leurs chaudières actuelles de défécation; il suffit d'élever la température du jus jusqu'à 50° en présence de la chaux, puis de le laisser couler dans des chaudières de saturation où l'on opère la carbonatation.

On trouverait également avantage à munir les chaudières d'un agitateur mécanique comme l'indiquent les figures 115 et 116.

Sur un arbre vertical, qui reçoit son mouvement de la vis sans fin *c* par l'intermédiaire de la roue d'engrenage *b*, sont

Fig. 115.

Fig. 116.

montées des palettes ou bras *a*, en bois ou en fer. Cet appareil assure un mélange beaucoup plus intime de la chaux avec le jus, sans dépense de main-d'œuvre spéciale.

D'après Jellinek, le jus, aussitôt qu'il est arrivé au niveau voulu dans la chaudière, doit être chauffé jusqu'à 25° et 35° au plus, (p. 17 de la brochure), et c'est à ce moment qu'on ajoute la chaux.

Il me semble néanmoins plus rationnel d'ajouter la chaux le plus tôt possible au jus encore froid. Il se pourrait même qu'il y eût avantage à ajouter à la râpe même, une petite fraction de la chaux, sous la réserve que cette fraction fût assez faible pour que la pulpe pût encore être donnée aux bestiaux. Du reste, à ce point de vue, Grouven a établi qu'une legère addition de chaux à la pulpe pressée la rendait d'une digestion plus facile et, par suite, était avantageuse.

Si on ne veut pas en arriver là, il serait bon, du moins, d'installer, auprès de chaque presse, par exemple, un dispositif qui laissât couler dans la rigole des jus, au moment où ils tombent de la presse, une proportion déterminée de lait de chaux à 18 degrés. De cette façon, le jus et la chaux arriveraient déjà bien répartis aux chaudières de défécation, où on compléterait le mélange par un brassage énergique.

A ce moment,[1] on fait arriver avec ménagement l'acide carbonique. Il se forme une écume grise, caractéristique, qui peu-à-peu prend une teinte plus claire et une consistance plus ferme. Comme, pendant ce temps, la température est arrivée vers 57 ou 60°, on peut augmenter la proportion d'acide carbonique injecté, jusqu'à ce qu'enfin, vers une température de 85 à 88°, on observe les caractères habituels du jus faiblement saturé.

En prélevant un échantillon avec une cuillère, le jus parait brillant et clair, en petites veines qui divisent une écume assez peu foncée en couleur. Le meilleur moyen pour reconnaître que l'opération est achevée consiste à verser le jus dans une

---

1) L'injection d'acide carbonique suivant immédiatement l'addition de la chaux, telle que Jellinek la recommande, ne saurait être avantageuse, attendu qu'une partie de la chaux perd ainsi immédiatement ses propriétés actives et se trouve perdue. Je préfère de beaucoup l'échauffement préalable jusqu'à 50°, en présence de la chaux seule.

éprouvette assez haute. Le dépôt se sépare rapidement, et la nuance indique au praticien, d'une façon très-nette, le moment où il faut s'arrêter. Si on laisse l'injection d'acide carbonique se prolonger trop longtemps, on redissout, suivant toute apparence, quelques unes des parties organiques du précipité, et le jus reprend une teinte plus foncée.

Le jus, après saturation, renferme de 0,05 à 0,07 de chaux au maximum, (Jellinek). L'opération de la carbonatation dure environ 30 minutes, et l'on sépare le jus clair des dépôts, soit en faisant passer tout le contenu de la chaudière aux filtres à écume, soit en laissant reposer le liquide dans des débourbeurs où s'opère la clarification. Cette dernière opération dure aussi 30 minutes. On a alors les trois-quarts du contenu de la chaudière à l'état de jus clair, et le dernier quart sous forme d'un liquide trouble, chargé d'écumes, d'où l'on peut retirer le jus clair sans difficulté à l'aide des filtres à écumes. Le jus qu'on obtient clarifié dans les débourbeurs peut être envoyé directement aux phases suivantes de la fabrication mais il est préférable de le faire passer aussi sur un filtre à écumes récemment monté, de façon à le débarrasser des matières en suspension qu'il a pu conserver. On l'envoie ensuite à la filtration.

On peut employer avec avantage le même procédé de défécation en le modifiant légèrement de la façon suivante. Le jus, additionné le plus promptement possible de chaux, est chauffé d'abord jusqu'à 55 ou 60°, en même temps qu'on l'agite constamment, de façon à faire agir la chaux sur le jus pendant un temps assez long avant d'injecter l'acide carbonique. Le procédé ainsi modifié a donné dans la pratique de très-beaux résultats. Ainsi, on s'en est servi pour traiter une partie de betteraves, dont les jus, avec la défécation et la saturation habituelle, ne pouvaient être amenés à cristalliser. On obtint une masse cuite très-bonne, grainant dans l'appareil même de cuite, et dont le rendement fut très-satisfaisant.

Ce résultat favorable serait de nature à motiver des essais pratiques plus étendus sur le léger changement que nous venons d'indiquer.

D'un autre côté, nous ne devons pas omettre de signaler ici que, dans d'autres fabriques, par exemple chez M. Freyse à Neustadt, on obtint des résultats notablement supérieurs en retardant l'addition de la majeure partie de la chaux jusqu'au moment où le jus avait atteint la température de 87°. Il semble aussi qu'il soit nécessaire de chauffer plus fortement le jus avec un excès de chaux, si l'on veut décomposer les variétés de sucre étrangères qui se rencontrent dans le jus et annuler leur action nuisible. Du reste, le fabricant pourra toujours, à l'aide de quelques essais, déterminer le mode de travail le plus avantageux pour la qualité des betteraves dont il dispose.

En résumé, de tout ce qui précède, il semble qu'on soit autorisé à conclure que le grand progrès réalisé par le procédé Frey-Jellinek réside dans l'emploi de très-fortes doses de chaux qui, précipitées en une seule fois, donnent des jus très-bien épurés.

L'addition dans les jus de chlorure de calcium (Défécation de Michaëlis) n'a rien de commun avec le procédé de Jellinek. On peut employer ou non le chlorure de calcium, mais il ne faut pas oublier que les chlorures alcalins ne sauraient être éliminés par le noir et qu'ils se retrouvent en fin de compte dans les sous-produits auxquels ils communiquent une saveur très-désagréable. Quoiqu'il en soit, les avantages ou les inconvénients du chlorure de calcium ne se rattachent en rien au chapitre de la défécation Frey-Jellinek, et si j'en parle ici, c'est seulement parce que, dans sa brochure, M. Jellinek lui-même traite de l'addition du chlorure de calcium comme si elle était indispensable.

Beaucoup de fabricants, à la fin de la carbonatation, font arriver dans les jus de la vapeur directe pour déterminer une précipitation plus rapide du carbonate de chaux.

Ce sel se sépare en effet, comme on le sait, plus facilement à une température supérieure à 75°. Le précipité est plus compact, moins volumineux que ceux que l'on obtient à plus basse température, et il se rassemble plus vite au fond. Toutefois, on peut arriver au même résultat, et tout aussi bien,

en chauffant simplement le jus à l'aide des doubles-fonds ou des serpentins. Il est vrai qu'avec un jet de vapeur directe le carbonate de chaux se sépare plus vite que dans d'autres conditions, mais la cause pourrait en être due, au moins en partie, à la dilution plus grande du jus, et on sait que, dans les dissolutions étendues, les précipités, de quelque nature qu'ils soient, se séparent plus vite. Dès-lors, si l'on veut diluer le jus, il vaut mieux le faire en ajoutant une plus forte proportion d'eau à la râpe. L'envoi de vapeur directe dans les chaudières de défécation ne saurait se motiver que si l'on s'en sert pour injecter l'acide carbonique sans pompe et sans machine motrice spéciale, ainsi que nous aurons occasion de le voir un peu plus loin.

Après avoir décrit, dans les pages qui précèdent, le matériel et le mode de travail avec le système Frey-Jellinek, il nous reste à examiner les effets de cette méthode et le degré d'épuration qu'elle fait subir au jus.

D'après les recherches de Weiler, et comme moyenne de cinq essais exacts, le jus brut, (à 14,28 % Balling et 10,9 % de sucre), avait un quotient de pureté apparent de 76,3. Après traitement par la chaux et saturation par l'acide carbonique, le quotient de pureté s'était élevé à 87 %; (le jus marquait alors 10,56 % Balling, 8,132 % de sucre et 0,06 % de chaux).

Dans d'autres expériences faites sur de meilleures betteraves, le quotient de pureté absolu déterminé directement s'éleva de 85 à 91; l'amélioration du jus était donc très-remarquable.

W. Gundermann admet que, dans ce mode de défécation, on enlève au jus de 45 à 57 %, soit en moyenne la moitié, des matières étrangères. Cette méthode fournit donc des résultats très-favorables, si on la compare aux anciens procédés que nous avons décrits. Il résulte en effet très-nettement de tous les essais faits dans ces derniers temps sur l'ancienne défécation, que ce traitement n'enlève aux jus qu'une assez faible fraction des matières étrangères qui accompagnent le sucre et nuisent à sa cristallisation (4 à 8 %, d'après Weiler, Grouven, Walk-

hoff). Aussi, était-on généralement arrivé à cette conclusion qu'il fallait forcément, pour répondre aux exigences nouvelles de l'industrie, trouver une méthode de défécation plus énergique que l'ancienne, et ce fait explique la rapidité exceptionnelle avec laquelle le procédé dont nous nous occupons s'est répandu dans beaucoup de fabriques.

Auparavant, on cherchait à dépouiller le jus d'une partie de ses matières organiques par la précipitation de la chaux après la défécation, par une évaporation préparatoire du jus en présence de la chaux. Aujourd'hui, on atteint le même but, et d'une manière infiniment plus complète, par une opération unique réunissant à la fois la défécation et la saturation.

Du reste, les analyses des résidus dans les deux méthodes prouvent bien que le procédé de Jellinek élimine une proportion beaucoup plus forte de matières organiques.

La quantité des dépôts qui se forment dans le travail par la méthode Jellinek est comprise entre 8 et 8,75 % (Jellinek, page 32).

Weiler, dans l'opuscule qu'il a publié sur le même procédé, indique que, sur 880 k^os de jus brut représentant 1100 k^os de betteraves, il obtint 108 et 84 k^os,5 d'écume pressée, en moyenne 96 k^os, soit 8,8 % du poids des betteraves. D'après cela, et en tenant compte d'ailleurs des autres résultats connus, nous pouvons compter que les dépôts représentent 8 % du poids des betteraves travaillées. Ces matières, après pression, avaient un taux d'humidité de 33 à 40 %; elles donnaient donc $8 \times \frac{60}{100}$ ou 4,8 % de résidu desséché, lequel contenait, d'après Weiler, 25,2 % de matières organiques. On avait donc enlevé, en principes organiques, $4{,}8 \times 0{,}252$ soit 1,21 % du poids des betteraves.

D'autre part, dans l'ancienne défécation ordinaire, c'est un fait connu qu'on obtient au moins 3 % de résidu qui, à l'état humide contient d'habitude 25 % de substances organiques. On sépare donc dans ce cas $3 \times 0{,}25$, soit 0,75 de principes organiques sur 100 de betteraves. Weiler admet que les résidus

ordinaires des défécation, après pression, ont en moyenne de 48 à 50 % d'humidité, et que, desséchés, ils contiennent, avec la dose de chaux habituellement employée, 45 % environ de matières organiques et 55 % de substances minérales.

Moi-même, dans des essais très-exacts et multipliés, j'ai trouvé le chiffre de 3 % comme proportion des résidus de défécation dans l'ancienne méthode. Si l'on cherche, en partant de cette donnée, la proportion de matières organiques éliminées qui se retrouve dans le résidu desséché, on trouve comme résultat $\frac{3 \times 50 \times 45}{1000}$ ou 0,675 en rapportant à 100 de betteraves.

La différence 1,21 — 0,75 ou 0,46 % entre les proportions de matières organiques éliminées par les deux méthodes de travail ne se retrouve pas cependant intégralement, comme nous allons le voir, dans les masses cuites. Dans l'ancienne méthode, en effet, après la défécation, une certaine partie des substances que retiennent les jus se trouve éliminée, soit à la saturation, par l'acide carbonique, soit à la filtration, par le noir. Le noir absorbe en effet plus ou moins de principes azotés, suivant que les jus en contiennent une dose plus ou moins forte. Les calculs qui précèdent, et qui se déduisent directement d'analyses faites sans aucun parti pris, ne valent donc absolument que pour la défécation considérée isolément, indépendamment de tout traitement ultérieur, et à ce point de vue, l'avantage est sans sontredit, comme nous l'avons vu, à la méthode Frey-Jellinek.

A la vérité, il est bien évident que, plus le jus sera pur après cette première opération, et meilleur aussi sera le rendement final, si toutes les autres conditions du travail sont d'ailleurs sensiblement les mêmes. Mais si, après ce premier traitement, on employait, pour la suite de la fabrication, des moyens tout différents, il pourrait parfaitement arriver que l'ancienne méthode donnât un rendement plus avantageux, sans toutefois que cela pût démontrer une supériorité de cette ancienne méthode. En tout cas, c'est un fait que le procédé de Jellinek,

avec une proportion de noir moins forte donne un résultat tout aussi bon que la défécation ordinaire suivie d'une filtration sur une dose de noir plus considérable. C'est maintenant au fabricant à calculer, dans chaque cas particulier, quel est le mode de traitement le plus favorable à ses intérêts.

En Allemagne, en France, et dans beaucoup de parties de la Russie, la question est immédiatement résolue en faveur de la nouvelle méthode. On trouve en effet dans ces pays, à dés prix avantageux, le calcaire et le combustible nécessaires pour produire l'énorme quantité d'acide carbonique qu'elle exige. Mais il est certains pays producteurs de sucre, le gouvernement de Kiew, par exemple, dans la Russie méridionale, où l'on ne peut avoir aussi économiquement, ni le calcaire, ni le combustible convenables. Dans ces cas, il y a tout avantage à arriver au même résultat final en forçant l'emploi du noir qu'on se procure à de très-bonnes conditions.

La méthode de Jellinek exige en effet, pour un travail journalier de 50,000 k^{os} de betteraves, 2,400 k^{os} de pierre à chaux, 150 k^{os} de coke et une certaine quantité de bois d'allumage, tandis que pour le même travail, avec l'ancien mode de défécation, il suffit de 250 k^{os} de chaux vive ou de 500 k^{os} de pierre à chaux. Ces chiffres prouvent que le procédé dont nous nous occupons ne résout que sous certaines réserves le problême de la production économique du sucre: il ne réduit en rien les dépenses de la fabrication et tout son avantage doit se borner à un rendement plus grand en sucre cristallisé par suite de l'emploi pour les masses cuites de jus mieux épurés.

La question se résume donc à se rendre compte, au moins approximativement, de combien cette méthode augmente le rendement en sucre pour 100 parties de masse cuite.

Malheureusement, nous ne possédons pas pour résoudre cette question les résultats d'expériences nombreuses et faites de divers côtés qui seraient nécessaires, et nous devons nous borner à nos observations personnelles. Quoiqu'il en soit, l'importance du sujet nous engage à reproduire ici les résultats de ces observations.

Dans nos expériences, la différence entre le degré polarimétrique de la masse cuite, (ou son quotient de pureté relative), et la teneur en substances solides était d'environ 2 %. Admettons, comme cas le plus favorable, que 100 k^os de betteraves donnent 12 % de masse cuite desséchée, et que le quotient de pureté de ces masses cuites soit, par exemple, de 84 pour la méthode ordinaire, de 86 pour le procédé Jellinek; (chaque fabricant pourra modifier ces chiffres en déterminant, par des expériences directes et comparatives, ceux qui conviennent à ses conditions locales). Si l'on admet que 1 partie de matières étrangères fait perdre, dans la pratique, 1 partie de sucre, on voit que, dans l'ancienne méthode, on retirera de la masse cuite 68 % de sucre, dans la nouvelle 72 %. Si l'on rapporte ces chiffres à 100 de betteraves, on obtiendra:

avec l'ancien procédé (68 × 12) ou . . .	8,16 % de sucre
avec le nouveau (72 × 12) ou	8,64 % - -
moins la perte de sucre dans les résidus du traitement, soit	0,20 % - -
Le rendement réel sera donc	8,44 % de sucre

et la différence en faveur du système Jellinek sera de 0,28 % ou environ ¼ % de sucre. Il suffira de transformer cette quantité en argent et d'en défalquer l'excédant de frais nécessité par la méthode pour pouvoir formuler en chiffres l'avantage pécuniaire de cette dernière.

Dans le calcul qui précède, nous avons admis pour la méthode de Jellinek une perte supplémentaire de sucre de 0,20 % par les résidus. C'est qu'en effet, selon nous, cette perte atteint bien dans la réalité le chiffre ci-dessus, par suite de la plus grande quantité d'écumes formées, et dans l'hypothèse où de part et d'autre on ne compte pas les eaux de dégraissage. Il est du reste facile de le vérifier:

On obtient, dans la carbonatation de Jellinek, comme nous l'avons vu, pour 100 de betteraves, 8 de résidus qui contiennent environ 40 % d'eau. Or, les jus de betteraves renferment habituellement, pour 88 d'eau, 12 de sucre, de sorte que, si les résidus contiennent 40 % d'eau, on peut admettre

qu'il s'y trouve en même temps 5 % de sucre, ce qui, rapporté à 100 de betteraves, représente 0,40 de sucre perdu. D'après d'autres observateurs, la perte de sucre ne serait que de 3,6 % du poids des résidus.

D'autre part, dans la défécation ordinaire, en admettant que les écumes contiennent 50 % d'eau, la perte est de 6^{p},8 de sucre pour 100 d'écumes, et comme 100 k^{os} de betteraves donnent au maximum dans ce traitement 3 k^{os} d'écumes, la perte réelle ne serait que de 0,20 % de betteraves.

La différence (0,40—0,20) ou 0,20 % de sucre doit donc être portée au compte de la méthode nouvelle et rangée au nombre des pertes par voie mécanique. Si l'on rapporte cette perte au poids de la masse cuite, on trouve 0,24 ou $^1/_4$ %. comme nous l'avions admis dans notre calcul.

W. Gundermann admet[1] que le procédé de Jellinek donne, en masse cuite, un rendement plus faible de $^1/_8$ à $^1/_4$ % et attribue ce moindre rendement à la proportion plus forte de matières étrangères éliminées. Le fait d'un rendement moindre en masse cuite est donc bien constant, et c'est seulement sur la manière d'expliquer cette diminution que les avis peuvent différer. Il peut se faire, comme l'admet Gundermann, que l'élimination plus complète des sels étrangers contribue à ce résultat, mais il est incontestable que c'est surtout par les résidus que se produit la perte de sucre, car, dans notre calcul, nous avons admis les conditions les plus favorables à un bon travail.

Nous avons en effet, pour l'ancienne méthode, supposé que les écumes contenaient 50 % d'eau, tandis que nous admettons, pour les résidus du procédé Jellinek, une teneur en eau de 40 % seulement. Or, rien n'est plus facile pour le fabricant que de réduire avec la première méthode et d'une façon notable cette proportion de 50 % d'eau dans les écumes.

Dans le calcul qui précède, nous n'avons pas fait entrer en ligne de compte le lavage des écumes; on peut en effet

---

1) Journal de l'assoc. des fab. allem. T. 15, p. 97.

l'opérer également dans les deux cas, et, en fin de compte, il y a toujours nécessairement une perte de sucre proportionnelle à la quantité d'écumes ou de résidus produite.

[Anciennement on admettait une perte chimique de sucre à la défécation, cette perte étant due à la combinaison du sucre avec la chaux; il ne faudrait pas croire que dans les nouvelles méthodes on soit complètement à l'abri d'accidents de ce genre. Par suite de phénomènes encore mal connus, le sucre peut s'unir au carbonate de chaux pour former des composés tantôt solubles, tantôt insolubles. En effet, il semble se former tout d'abord un composé particulièrement soluble, car les liqueurs sucrées et chaulées peuvent absorber quelquefois des quantités considérables de gaz sans se troubler. Ce fait déjà signalé par M. Dubrunfaut a été de nouveau étudié par M. Feltz dont le tableau suivant résume les expériences.[1]

Solution à 10gr de sucre par décilitre.

I.	II.			
1,128	0,255	soit %	de la chaux totale	0,226
1,575	0,382	-	-	0,242
1,790	0,510	-	-	0,284

Solution à 20gr de sucre par décilitre.

I.	II.			
1,250	0,382	soit %	de la chaux totale	0,305
1,740	0,637	-	-	0,366
2,320	1,020	-	-	0,439
4,030	2,268	-	-	0,562

Solution à 40gr de sucre par décilitre.

I.	II.			
2,296	1,597	soit %	de la chaux totale	0,695
4,116	3,060	-	-	0,765

1) Feltz, Journal des fabricants de sucre.

La première colonne indique la quantité de chaux pure contenue dans 1 décilitre de solution, la seconde colonne indique la quantité de chaux que l'on peut carbonater sans que la liqueur se trouble; en les parcourant on verra que la quantité de carbonate soluble devient d'autant plus grande qu'il y a plus de chaux, et que, pour des dissolutions d'égale teneur en chaux cette quantité augmente aussi avec le titre en sucre. Ce phénomène ne serait pas spécial au carbonate de chaux car, d'après Sostmann, le sulfate de chaux qui est presque insoluble dans l'eau et dans l'eau sucrée, se dissout en proportion notable, (jusqu'à 5 %) en présence du sucrate de chaux.

Au contraire, dans certaines circonstances, assez mal définies d'ailleurs, l'acide carbonique détermine la précipitation du sucrate de chaux primitivement soluble (sucrate d'hydrocarbonate de chaux?). On a voulu fonder sur cette propriété une méthode de purification du principe sucré dans les jus,[1] mais les résultats obtenus ne sont pas encore suffisamment sanctionnés par la pratique. Nous signalons seulement l'existence de ce composé insoluble pour recommander d'en éviter la formation dans le travail que nous venons de décrire. C'est un accident particulier aux carbonatations mal conduites et qui peut entraîner des pertes en sucre assez notables (jusqu'à $^1/_5$ d'après Feltz).]

Dans le procédé de Jellinek, la qualité de la chaux employée doit être prise en très-sérieuse considération. Si on pouvait avoir cet agent chimiquement pur, les théories que nous avons données plus haut se vérifieraient exactement dans la pratique, mais en réalité, la chaux, telle qu'on peut se la procurer, est toujours plus ou moins impure. Qu'elle contienne seulement 1 % d'alcalis et il est facile de voir qu'une défécation avec $2^1/_2$ % de chaux sur 50,000 k^{os} de betteraves correspondra à l'addition dans les jus de 12^k,500 d'alcalis. Or, ces bases feront passer dans les mélasses 90 k^{os} soit $^1/_8$ % du sucre.

En outre, la chaux du commerce contient toujours, en proportion variable (de 1 à 10 %), des combinaisons étrangères

---

1) Méthode Boivin-Loiseau.

de nature très-diverse, comme de l'argile, de l'oxyde de fer, de la magnésie, de la silice, etc., que nous devons nous borner à énumérer. Il serait donc important de procéder à des analyses exactes de la chaux dans chaque fabrique, et de combattre par quelques précautions les inconvénients qui peuvent résulter de l'introduction de ces matières étrangères dans le jus.

En résumant les considérations qui viennent d'être exposées, on peut dire que les avantages principaux du procédé de Jellinek sont les suivants: 1°, l'épuration des jus se fait en une seule opération; 2°, cette épuration unique est plus complète qu'elle ne l'était en deux fois dans l'ancien mode de travail; 3°, la chaux qui passe dans les écumes se trouve à l'état de carbonate, ce qui ménage les sacs, tout en rendant les écumes plus faciles à travailler; 4°, les jus étant mieux épurés à la défécation, on pent, dans les phases suivantes du travail, réduire la proportion des agents employés, tels que le noir, tout en obtenant le même degré de pureté, ou, si l'on maintient la même dose de noir, on a des jus plus purs; 5°, en réduisant l'emploi du noir on a moins d'eaux de dégraissage à évaporer; la revivification ne porte également que sur de moindres quantités.

[Tandis que la méthode Frey-Jellinek était accueillir avec faveur en Allemagne, l'attention se portait en France sur un procédé de traitement du jus qui avait été bréveté en Février 1859 par MM. Périer et Possoz, et qui rentre dans le même ordre d'idées. A cette époque, le fractionnement de la chaux et sa précipitation réitérée par l'acide carbonique, au sein des jus sucrés, étaient à l'ordre jour; des brevets très-nombreux avaient été pris presque simultanément, tant en France qu'à l'étranger, touchant des modes d'application plus ou moins distincts: des réclamations s'élevèrent de tous côtés, et une polémique très-vive s'engagea entre les divers pétendants sur les questions de priorité. Il en résulta la plus grande confusion. En Prusse, les droits des industriels allemands furent seuls reconnus; en France les jugements rendus dans les différents procès ont été quelquefois contradictoires; il ne nous appartient pas de juger en dernier ressort, et nous ne nous ferons pas l'écho de ces

discussions stériles; il nous suffira d'avoir indiqué en passant les divergences d'opinions. Nous nous bornerons donc à présenter ici le côté technique des diverses méthodes que la pratique a sanctionnées; chacun pourra se rendre compte ainsi des différences qui distinguent ces méthodes entre elles. Quant à ceux de nos lecteurs qui seraient désireux d'être plus amplement renseignés sur la validité de tel ou tel brevet, nous les renverrons aux journaux spéciaux dans lesquels ces questions ont été traitées à plusieurs reprises et diversement appréciées.]

Après avoir décrit le procédé Frey-Jellinek, après avoir insisté sur les travaux de Maumené, nous présenterons donc avec quelques détails la méthode de MM. Périer et Possoz, méthode qui, sous le nom de double carbonatation, est actuellement suivie en France presque à l'exclusion de tout autre.

[Si l'on cherche à se rendre compte des phénomènes qui accompagnent l'action de l'acide carbonique sur les jus sucrés, on peut voir que ces phénomènes appartiennent à deux classes bien distinctes. En effet, tandis que l'acide carbonique, agissant en proportion convenable, détermine la précipitation de la plupart des sels calcaires primitivement solubles, l'action prolongée de ce gaz amène au contraire, d'une manière à peu près générale, la dissolution de substances parfaitement insolubles dans d'autres circonstances. Comme il est essentiel d'obtenir par la carbonatation, des jus d'une neutralité presque absolue, on doit cependant pousser l'action du gaz aussi loin que possible; on comprend dès lors que cette opération n'est pas sans écueils. On peut toutefois éliminer par la carbonatation les combinaisons calcaires en dissolution dans les liquides sucrés, mais pour que cette élimination soit certaine et complète, il est nécessaire de fractionner les produits de précipitation. C'est sur une connaissance approfondie de ces phénomènes que repose la méthode conseillée pour l'application de l'acide carbonique à l'épuration des jus chaulés, par MM. Périer et Possoz, méthode dans la quelle ce travail délicat est rendu, pour ainsi dire, indépendant du savoir-faire de l'ouvrier.

Voici d'ailleurs quelle est en substance la marche qu'il convient de suivre. Les jus sont chaulés à froid; au sortir des presses on leur ajoute 10 %, en volume, d'un lait de chaux marquant de 20 à 23°. Quand les jus sont de mauvaise qualité, on peut augmenter cette proportion jusqu'à 15 %. Le mélange, rendu intime par l'agitation, est aussitôt envoyé dans des chaudières où il est chauffé d'abord jusqu'à 40 à 45° centigrades; après quoi il est soumis à l'action d'un courant d'acide carbonique (gaz du four à chaux généralement); pendant le barbottage, on laisse la température monter un peu, et on la maintient dans les environs de 60 à 65° centigrades. Bientôt les mousses, très-abondantes au début, tendent à s'affaisser; on active alors le courant de gaz et on met la vapeur dans les serpentins; pendant ce temps on prend fréquemment des preuves, car on doit s'arrêter au moment où le liquide s'éclaircit rapidement en abandonnant un précipité grenu qui gagne lourdement le fond, et laisse apercevoir le jus bien limpide et à peine teinté en jaune pâle. La surface du liquide doit d'ailleurs se couvrir de pellicules écailleuses et grisâtres, indice certain qu'il reste dans le jus une quantité suffisante de chaux non carbonatée. A mesure que la saturation approche, on laisse monter la température; il faut conduire le travail de telle sorte que le liquide atteigne presque l'ébullition à la fin de l'opération; on doit alors entendre le frémissement qui devance le bouillon. Il est essentiel d'arrêter l'action du gaz au degré de saturation que nous avons indiqué, sans quoi une partie du précipité rentre en dissolution, et le jus se colore de nouveau; il prend dans ce cas une teinte bistre que l'on ne peut plus faire disparaître. D'une manière générale, il s'agit dans cette première carbonatation de déterminer la formation d'un premier précipité que l'on doit séparer immédiatement du jus; on doit donc arrêter l'opération au moment où ce précipité se sépare rapidement et complètement du jus clair. Ces conditions étant obtenues, le jus est envoyé dans des décanteurs placés directement au-dessous des chaudières de carbonatation, et y est laissé en repos pendant 15 à 20 minutes. Au bout de ce temps, le

dépôt est fait; le jus clair est décanté au moyen d'un tube en caoutchouc dont l'ouverture, munie d'un flotteur, ne livre accès qu'aux couches supérieures du liquide; le jus trouble passe aux filtres-presses.

Après avoir subi ce premier traitement, les jus, déjà très-clairs et limpides, sont additionnés d'une nouvelle quantité de lait de chaux, (2½ à 3 % en volume) et sont soumis à une seconde carbonatation. Cette fois, la saturation doit être plus profonde; et il convient de la pousser aussi loin que le permet la rapidité avec laquelle s'effectuent les opérations subséquentes; on peut prolonger l'action du gaz sans danger puisque l'on a déjà procédé à la séparation de la plus grande partie des impuretés. MM. Périer et Possoz ont montré que dans cette seconde carbonatation on pouvait, par l'action seule du gaz, éliminer totalement la chaux; c'est le but dont on doit chercher à se rapprocher, et l'on n'est plus limité ici que par la nécessité de maintenir dans les jus la petite quantité de chaux nécessaire à leur bonne conservation: plus la transformation des jus en masse cuite est rapide, plus on pourra pousser loin la saturation, plus les cuites seront faciles, plus les rendements seront avantageux. Généralement, on s'arrête au moment où le jus pris dans un verre s'éclaircit instantanément par le repos, et ne change pas sensiblement de teinte par l'addition de quelques gouttes de protochlorure de fer. Tant que la chaux est en excès, le jus vire à une teinte verdâtre sous l'influence du réactif. On obtient une liqueur convenable pour ces essais en faïsant dissoudre du fer dans de l'acide chlorhydrique de manière à produire un liquide très-dense, marquant 9 à 10° au densimètre, et en étendant ce liquide de 50 à 60 volumes d'eau, au fur et à mesure des besoins journaliers.

Cette seconde carbonatation terminée, on donne deux ou trois bouillons pour détruire les bicarbonates qui auràient pu prendre naissance, et le jus est envoyé aux décanteurs; la partie claire passe aux filtres et à l'évaporation, la partie trouble est envoyée au filtres-presses d'où elle va se joindre aux jus clairs de première carbonatation avec lesquels elle rentre

dans le travail. Après chaque opération, les bacs à carbonater, comme les décanteurs, doivent être nettoyés à fond.

Avec ces précautions on produit toujours et régulièrement des jus d'une beauté remarquable. La constance des résultats obtenus ne constitue pas le moindre avantage de la méthode.

Le tableau suivant, que nous empruntons à la brochure publiée par Weiler rend compte de l'épuration successive des jus dans le procédé Périer-Possoz.

	Degré du jus.	Teneur en sucre.	Quotient de richesse saccharine.	Quotient des matières étrangères.	Valeur du jus.	Valeur du jus à Seelowitz.	Pour 100 de sucre, proportion des matières étrangères.	Teneur en chaux.	Pour 100 de matières étrangères, proportion éliminée.	Pour 100 de matières étrangères, proportion restée dans le jus.
Jus brut . . .	16,8	13	0,773	0,227	3,42	3,64	29,23	—	—	—
après défécation	14,88	11,66	0,783	0,217	3,62	—	27,61	0,186	5,54	94,46
1e carbonatation	12,58	10,33	0,821	0,179	4,59	4,62	21,78	0,068	25,49	74,51
2e carbonatation	10,4	8,83	0,849	0,151	5,62	5,68	17,78	—	39,18	60,82
après filtration sur 5 % de noir	10,13	8,83	0,871	0,129	6,79	7,27	14,72	—	49,64	50,36

L'épuration porte principalement sur les matières azotées et colorantes, aussi la méthode de la double carbonatation a-t-elle permis de réduire dans des proportions considérables les quantités de noir employées précédemment. C'est ainsi que l'on trouve en France des usines qui produisent de très-beaux sucres tout en ne travaillant qu'avec des noirs vieux, employés même en proportions très-minimes. Il ne faut pourtant pas perdre de vue que le rôle du noir ne se borne pas à la décoloration des jus; le noir a encore un pouvoir absorbant considérable pour certains sels dont l'élimination ne saurait être obtenue en aucune façon par l'emploi de la chaux et de l'acide carbonique.]

L'industrie du sucre a fait incontestablement un grand progrès le jour où ces méthodes de travail ont été trouvées, et si quelquefois elles donnent des résultats moins avantageux, ou ne peuvent être appliquées, la raison en est due exclusivement à des raisons commerciales.

Il ne s'agit pas en effet seulement de modifier ou d'installer des bacs de saturation convenables, de produire une plus grande quantité de chaux, il faut, pour précipiter cette dernière, une forte proportion d'acide carbonique, et la quantité énorme de gaz que l'on doit produire entraîne des installations et des machines toujours coûteuses. La quantité de gaz à mettre en mouvement varie d'ailleurs dans des limites très-étendues, suivant les conditions diverses où on le produit. Ainsi, les gaz d'un bon four à chaux renferment rarement plus de 30 % d'acide carbonique; cette proportion descend souvent à 12 et 16 % dans les fours de Kindler, et même à 6 ou 10 % dans les gaz de combustion directe.

L'attention des fabricants a été appelée sur ce point pour la première fois par le Docteur Weiler chimiste de l'association des fabricants de sucre d'Autriche, qui a en même temps construit un appareil très-simple pour doser la richesse des gaz en acide carbonique.

Cet appareil est formé d'un tube de verre fermé à une de ses extrémités et divisé en centimètres cubes et fractions de centimètres cubes. Cette éprouvette est remplie d'une solution saturée de chlorure de sodium, et portée sur une soupape renfermant également de l'eau salée. Si l'on a soin de ne retirer le doigt qu'une fois l'ouverture du tube au-dessous du niveau du liquide, il ne peut plus rentrer d'air dans l'éprouvette.

D'autre part, on prend dans un ballon en caoutchouc un échantillon du gaz à essayer et, en pressant sur le ballon, on fait arriver le gaz sous l'éprouvette. Le gaz déplace le liquide et on s'arrête quand celui-ci affleure à la division zéro. A ce moment, on ferme de nouveau avec le doigt l'éprouvette remplie de gaz et on la porte sur une soucoupe remplie d'une dissolution

de potasse caustique. En retirant le doigt,[1] il entre un peu de liquide dans le tube, une partie de l'acide carbonique est absorbée et le volume du gaz diminue dans le tube. Pour activer l'absorption on bouche de nouveau l'éprouvette avec le doigt et on la renverse en l'agitant, de façon à ce que le liquide lave tout le contenu du tube. On répète ces opérations à plusieurs reprises, jusqu'à ce que le niveau du liquide ne monte plus dans l'éprouvette; à ce moment tout l'acide carbonique est absorbé. Il suffit alors de lire le nombre de divisions occupées par le liquide pour connaître le volume du gaz disparu. Si l'éprouvette est divisée en 100 centimètres cubes, le nombre des divisions qu'on lit ainsi donne directement le taux % d'acide carbonique en volume. Si, comme c'est le cas le plus fréquent, l'éprouvette est divisée en 50 centim. cubes, il suffit de multiplier par 2 le résultat de la lecture.

Plus les gaz qu'on obtient sont impurs[2] et plus puissants doivent être les moyens mécaniques nécessaires pour faire passer le gaz au travers du jus. On se sert presque toujours, pour cette injection, de pompes mues par une machine à vapeur spéciale.

Les figures ci-contre, fig. 117 et 118, représentent les pompes à acide carbonique à moteur direct généralement employées aujourd'hui. *a* est le corps de pompe qui aspire les gaz des appareils de production pour les refouler dans les liquides sucrés. Ces corps de pompe ont de $0^m,45$ à $0^m,80$ de diamètre. Leur piston est commandé par une tige qui forme le prolongement de celle du piston du cylindre moteur *c*. Pour l'aspiration et le refoulement du gaz, les clapets des pompes ordinaires sont remplacés par un tiroir *b*, dont les mouvements

---

1) On doit avoir soin de laver immédiatement la main dans l'eau, car la solution de potasse attaque rapidement la peau.

2) [Payen a proposé, pour avoir de l'acide carbonique pur de faire passer les gaz du four à chaux dans une solution de carbonate de soude: l'acide carbonique serait absorbé seul, et on pourrait le dégager ensuite en décomposant à l'ébullition le bicarbonate de soude formé. On retomberait alors sur le carbonate basique qui pourrait de nouveau absorber du gaz.]

sont commandés par la machine elle-même et qui assure un fonctionnement plus doux et plus régulier de l'appareil.

Les fabriques qui veulent marcher avec la méthode de carbonatation de Jellinek sont actuellement forcées d'installer une de ces machines suffiantes, ce qui entraîne, et une première mise de fonds assez élevée, et des frais d'entretien importants. Je crois donc utile de signaler ici aux fabricants et aux ingénieurs un essai que j'ai fait en 1865 à Ulladofka (Russie méridionale), et dont l'idée m'était venue pendant le voyage. M. Galland avait eu l'obligeance de mettre sa fabrique à ma disposition pour cette expérience.

L'idée que je voulais appliquer consistait, au lieu d'envoyer le gaz par des pompes, à l'injecter dans le liquide à l'aide d'un courant de vapeur directe, exactement comme, dans l'injecteur de Giffard, on envoie l'eau d'alimentation dans les générateurs. Un appareil de ce genre devait se recommander par son prix peu élevé, sa simplicité et la continuité de son action. Quant à la vapeur dépensée par l'appareil, elle n'avait

Fig. 119.

que l'inconvénient de diluer les jus, mais on n'en consommait pas plus qu'il n'en fallait pour échauffer ces jus, et cette transmission de la chaleur par injection directe se faisait dans de très-bonnes conditions. Enfin, on économisait la vapeur nécessaire pour faire marcher la machine.

La fig. 119 représente la disposition que j'avais adoptée. En enfonçant plus ou moins la tige *d* on faisait arriver la vapeur en *e* en quantité plus ou moins grande, et cette vapeur entrainait l'acide carbonique qu'elle aspirait en *f*. Le tout passait dans un tuyau *g* plongé dans le jus et percé de trous à sa partie la plus basse.

Dans mon expérience, le jus se trouva porté de 45 à 87° et, en une demi-heure, on obtint une précipitation de la chaux presque complète. Plus le jus est froid et mieux se fait l'entrainement des gaz. A 87°, il n'arrive plus que très-peu d'acide carbonique dans le jus.

Tout en conservant les anciennes petites pompes à gaz pour achever la saturation de la chaux, le fabricant pourrait donc, avec un de ces injecteurs, se dispenser d'acheter une nouvelle machine soufflante.

Chapitre III.

Considérations générales sur le traitement des jus après la défécation.

Tous les praticiens sont unanimes à reconnaître que le traitement des jus bruts, leur purification, constituent un point essentiel. Il suffit de consulter l'histoire de l'industrie de la betterave pour l'assurer que les rendements ne devinrent convenables que le jour où on se préoccupa d'épurer les jus. Jusqu'à ce moment, les résultats peu satisfaisants qu'on obtenait provenaient en effet de l'imperfection des procédés de séparation des matières étrangères; ils ne sauraient être attribués aux moyens de production du jus lui-même, puisque l'on retirait

déjà 60 et 70 % du poids de la betterave, avec des appareils d'une simplicité rudimentaire, tandis qu'aujourd'hui même, pour beaucoup de fabriques, on ne va pas au-delà de 80 %. Au début de l'industrie, on n'employait pas ou presque pas de noir, qui aurait pu expliquer une certaine perte de jus, et, cependant, on n'avait comme rendement en sucre que 3 et 4 %, tandis qu'aujourd'hui on arrive à 7 et 8. Il est donc bien évident que le progrès capital de l'industrie sucrière dans cet intervalle a porté presque exclusivement sur les procédés de traitement du jus.

Cependant, nos connaissances sont-elles parvenues à un point de perfection suffisant pour élucider toutes les circonstances qui se présentent? Pouvons-nous affirmer à priori tel ou tel résultat, suivant que l'on réalisera telles ou telles conditions? Malheureusement, la réponse n'est pas douteuse et on ne saurait nier qu'il reste sur un grand nombre de points de la fabrication une obscurité regrettable.

Pour ma part du moins, je dois avouer que j'ai cherché inutilement dans tous les ouvrages techniques publiés jusqu'ici une théorie complète des diverses phases de la fabrication.

En l'absence des travaux de mes devanciers, j'ai dû étudier par moi-même la question, et c'est à ce titre qu'il peut m'être permis d'exposer ici les résultats de mes recherches pour quelques campagnes.

Des observations qui ne portent que sur un petit nombre d'années ne sauraient, il est vrai, légitimer une théorie générale, pas plus que des expériences faites en un seul endroit. Je ne l'ignore pas, mais je m'estimerai heureux si la publication de mes recherches peut déterminer, dans d'autres pays et avec des qualités de jus différentes, des expériences analogues, dont l'ensemble ne tarderait pas à conduire à des résultats pratiques, malgré les divergences probables. D'ailleurs, les pages qui suivent auront encore leur utilité si elles appellent l'attention des fabricants sur certains détails pratiques qui peuvent présenter de l'intérêt, et si elles mettent sur la voie d'améliorations plus ou moins importantes.

Les opérations qui suivent la défécation peuvent se considérer sous un triple point de vue, savoir:

1° La séparation de la chaux conservée par le jus.

2° La décoloration du jus.

3° Son épuration, c'est-à-dire la séparation des matières étrangères autres que la chaux.

Nous nous bornerons à étudier ici d'une manière générale les questions relatives à l'élimination de la chaux, réservant pour le chapitre suivant la décoloration et l'épuration proprement dite des jus déféqués.

En ce qui concerne la séparation de la chaux, nous possédons un grand nombre de moyens, mais quelques-uns seulement satisfont aux conditions économiques ou industrielles dont ne doit pas se départir le fabricant. Les principaux agents que l'on emploie sont: l'acide carbonique et le noir animal. Mais, avant d'exposer les résultats que fournissent ces agents, il ne sera pas inutile d'indiquer les procédés qui permettent de contrôler leur action, de l'exprimer en chiffres et d'en fournir la mesure; c'est un point essentiel, si l'on veut apprécier réellement l'effet de chacun des traitements; c'est en même temps une notion utile au fabricant qui, sans elle, ne pourrait exercer d'utile contrôle sur l'emploi de ces agents pendant les diverses phases du travail.

La première question à résoudre est donc le dosage de la chaux dans les jus. Cette analyse offre, avec les jus déféqués, de sérieuses difficultés. On peut, il est vrai, se servir de l'oxalate d'ammoniaque qui précipite la chaux et permet de la séparer à l'état de dépôt: au bout de quelques heures, on peut filtrer le liquide, et, après un lavage convenable à l'eau chaude, dessécher le résidu qu'il suffit ensuite de porter à la température de fusion et de peser pour connaître la quantité initiale de chaux qui se trouvait dans le jus. Cette méthode est sans contredit la plus exacte et peut rendre dans certains cas d'utiles services, lorsqu'il s'agit de déterminations rigoureuses. Ainsi, dans des essais sur le procédé de Maumené,

on trouva, en faisant usage de ce mode d'analyse, que le jus clair renfermait:

2,1384 % de chaux	pour une	6 %	d'hydrate de chaux	soit	4,54	de chaux pure
1,68 % - -	addition	4 %	-	-	-	3,02	-	-
1,0136 % - -	initiale de	2,5 %	-	-	-	1,89	-	-

Ces doses de chaux avaient permis au jus de conserver intégralement sa teneur en sucre de 12 % jusqu'au commencement de Mai.

Ces chiffres semblent indiquer un rapport à peu près constant entre la quantité de chaux dissoute que retient le jus et la quantité ajoutée au début. Cette conclusion s'applique, il est vrai, dans ce cas particulier, seulement à la défécation faite à froid et prolongée pendant un temps considérable, mais il semble probable qu'il existe une relation analogue avec le mode ordinaire de défécation à chaud.

Mais, si le dosage de la chaux par l'oxalate d'ammoniaque constitue un mode d'analyse précieux, c'est une opération qui dure environ 48 heures et qui exige une main exercée. Les résultats que fournit l'analyse sont donc trop tardifs pour donner des indications sur la marche du travail à chaque instant de la journée, comme l'exigeraient les besoins de la fabrication. Il importe en effet en industrie, que les questions posées trouvent leur solution en quelques minutes, qu'on soit à même de remédier à un accident ou à un defaut dans le travail au moment même où il se constate, qu'on puisse enfin, en s'appuyant sur les résultats des essais, régler la marche des diverses opérations, de façon à se maintenir constamment à la limite supérieure du rendement possible.

Mais si, renonçant à une analyse précise, on se borne à rechercher le degré d'alcalinité des jus, en dosant ensemble la chaux, la potasse et la soude, rien n'est plus simple et plus rapide que cette détermination totale.

D'ailleurs, en partant de ce résultat d'ensemble, le fabricant pourra en déduire rapidement et sans erreurs considérables, les quantités de potasse et de soude. On peut en effet admettre, d'après Hochstetter, (voir tome I), que les bases

alcalines forment à peu près 80 % du poids des cendres; or, tout fabricant soigneux connait la teneur en cendres des diverses variétés des betteraves qu'il met en œuvre.

Si cette approximation n'est pas jugée suffisante, il est facile, à l'aide de l'halomètre de Weiler, d'évaluer la quantité d'alcalis que renferme le jus des betteraves. Cet instrument, qui s'applique d'ailleurs tout aussi bien aux sirops et aux mélasses, a pour but de doser la teneur en sels des liquides que l'on soumet à l'analyse. Sa construction le rend d'ailleurs très-propre à déceler la présence des plus faibles quantités de matières en dissolution dans l'eau. Ainsi, pour les eaux de dégraissage des filtres, quand l'aréomètre Baumé marque déjà 0°, l'halomètre donne encore très-facilement le taux réel des principes dissous, à la seule condition que le liquide ait exactement la température normale de 17°,5.

Pour déterminer dans les jus la teneur en sels (alcalis), on mesure 200 centimètres cubes du jus à essayer, on l'évapore à siccité dans une capsule en métal, et on le chauffe sur un feu de charbon de bois jusqu'à ce que toute la masse soit transformée en charbon. Le résidu est broyé dans la capsule même, étendu d'un peu d'eau et jeté sur un filtre. On lave la capsule à plusieurs reprises avec de nouvelles portions d'eau qu'on verse chaque fois sur le filtre, et on s'arrange pour obtenir ainsi 200 centim. cubes de liquide. Ces eaux de lavage sont refroidies exactement à 17°,5, et placées dans une éprouvette où l'on plonge l'halomètre, qui ne diffère d'un aréomètre que par sa sensibilité et son mode de graduation. Le degré marqué par l'instrument donne immédiatement le taux % d'alcalis que renfermait le jus. Comme chaque centième représente sur la tige trois centimètres, et que l'instrument est divisé en dixièmes de degrés, les lectures se font avec la plus grande exactitude.

Pour essayer une mélasse, on en pèse 50 grammes, on les calcine dans la capsule, on réduit le charbon en poudre, on ajoute de l'eau et on jette sur un filtre. La capsule est ensuite lavée jusqu'à ce qu'on ait 200 centim. cubes de liquide

que l'on ramène à 17°,5 et qu'on essaie à l'halomètre. Comme la dissolution représente 4 fois le poids primitif de la mélasse, il faut multiplier par 4 les indications de l'instrument, pour avoir la teneur de la mélasse en matières solides. Les résultats qu'on obtient ainsi, sont, comme on le verra par les exemples ci-après, parfaitement satisfaisants pour les besoins de la pratique et l'opération se fait très-vite.

La détermination du taux des sels ou des cendres dans les produits sucrés, par incinération complète dans une capsule de platine et au mouffle, constitue une opération presque impossible, attendu que les sels, en fondant, vitrifient le charbon dont la combustion reste incomplète. D'autre part, en maintenant les matières pendant longtemps à une température élevée, on s'expose à ce qu'une partie des sels soit volatilisée. On est donc en général forcé de se borner à une calcination modérée, et de reprendre le résidu par l'eau. Or, l'évaporation doit alors être faite dans une capsule de platine; elle exige beaucoup de soin et prend plusieurs heures; les sels qu'on obtient sont enfin très-hygroscopiques, et, pour que l'essai mérite quelque confiance, il équivaut à une analyse délicate. — Avec l'halomètre au contraire, la détermination des sels alcalins, si souvent utile dans la pratique, devient une opération simple et facile, et à ce titre, Weiler a rendu à l'industrie un véritable service.

Nous croyons devoir donner ici les résultats d'essais comparatifs effectués comparativement avec l'halomètre, et par incinération.

200 cent. cubes de jus de betteraves donnèrent à l'halomètre.	0,85 %	d'alcalis
50 gr. du même jus, soumis à l'analyse ordinaire par pesée, contenaient 0ᵍ,432 soit	0,864 %	-
50 gr. de mélasse incinérée, traitée par l'eau et essayée à l'halomètre donnèrent . . .	9,2 %	-
La même dissolution évaporée et calcinée à la capsule de platine donna	9,168 %	-

50 gr. de sucre brut traités comme la mélasse précédente donnèrent à l'halomètre . . . 1,16 % d'alcalis
Le même sucre évaporé et calciné donna un poids de résidu représentant . . . . . 1,114 % -

Dans un certain nombre de fabriques de France et d'Allemagne, on fait usage, pour déterminer l'alcalinité des jus, d'un procédé qu'il peut être utile de décrire ici, bien qu'il n'offre rien de particulièrement nouveau.

Ce mode d'analyse est fondé sur ce que la chaux, la potasse et la soude sont neutralisées par les acides tels que l'acide chlorhydrique étendu, l'acide azotique, etc. Le point où la neutralisation est complète se constate d'ailleurs facilement par les papiers réactifs employés en chimie. Les acides qu'on emploie sont ramenés à un état de concentration tel qu'ils neutralisent exactement leur volume d'eau de chaux pure et filtrée, à une température constante. Rien d'ailleurs n'est plus facile que de passer des volumes aux poids, quand on connait les densités des liquides employés. Par suite, l'emploi de ces acides titrés avec les jus indique immédiatement si le jus est plus ou moins alcalin que l'eau de chaux, et quel est le rapport entre les quantités de bases supposées transformées en chaux. C'est un résultat qui suffit parfaitement dans la fabrication, du moment où l'on connait la proportion de chaux contenue dans l'eau de chaux prise comme type. Si, par exemple, à la température de 15°, l'eau de chaux contient 0,136 % de chaux et si l'on trouve qu'un jus déféqué est deux fois plus alcalin, on en déduira que 100 parties de jus ont un degré d'alcalinité égal à $2 \times 0{,}136$ ou 0,272. Si un sirop a donné à l'essai $\frac{3}{10^{es}}$ de l'alcalinité normale, on en conclut qu'il renferme une proportion d'alcalis équivalente à $0{,}136 \times \frac{3}{10}$ ou 0,04 % de chaux.

Avec cette méthode, le fabricant peut à chaque instant avoir une valeur précise de l'alcalinité des jus; il suffit que le titrage de l'acide ait été bien fait, pour que la neutralisation

se produise exactement à volumes égaux. Nous entrerons dans quelques détails sur les précautions à prendre et le mode d'opérer.

On étend avec une forte proportion d'eau de l'acide chlorhydrique pur, ou, à son défaut, de l'acide du commerce. On met 10^{cc} de ce liquide dans un verre à expériences à l'aide d'une pipette, et on ajoute quelques gouttes de teinture de tournesol jusqu'à ce qu'il se produise une coloration d'un rouge faible. D'autre part, on remplit une burette graduée jusqu'au zéro avec de l'eau de chaux parfaitement claire et récemment préparée.[1] On verse peu-à-peu cette eau de chaux dans l'acide étendu, en ayant soin d'agiter constamment, jusqu'au moment où une dernière goutte détermine une coloration bleuâtre persistant après une longue agitation. Supposons qu'on ait dû employer, pour atteindre ce point, 64^{cc} d'eau de chaux; on voit que ces 64^{cc} auront neutralisé 10^{cc} de la liqueur acide. Si donc on veut préparer 1 litre de liqueur normale, un simple calcul indique qu'il faudra mélanger 152^{cc},9 d'acide avec la quantité d'eau suffisante pour un litre.

Pour faire les essais dans les sucreries, on se sert généralement d'éprouvettes divisées par cinquième de centim. cube de 0 à 50^{cc}. On emplit cette éprouvette jusqu'au dixième centim. cube avec le jus à essayer préalablement filtré; on ajoute l'acide titré et coloré par la teinture de tournesol jusqu'à ce que la couleur vire au bleu, et on lit le nombre des divisions de l'éprouvette; si le volume du mélange est de 30^{cc}, c'est que le jus a un degré d'alcalinité double de celui de l'eau de chaux; si on s'arrête à 25^{cc}, c'est que le jus renfermait 1 fois ½ autant de bases que l'eau de chaux prise comme terme de comparaison.

Michaëlis, dans ses recherches sur les jus de betteraves[2], a employé la même méthode de dosage, en rapportant l'alca-

---

1) Pour préparer cette eau de chaux, on doit avoir soin de laisser de côté les deux premières portions d'eau ajoutées d'abord sur la chaux. On n'utilise que la troisième et les suivantes.

2) Journal de l'assoc. des fab. allem. T. 5.

linité des jus à celle de l'eau de chaux prise comme unité. C'est du reste le mode d'évaluation le plus généralement employé.

On peut également employer l'acide normal de Mohr qui se trouve chez tous les fabricants de produits chimiques. Un centim. cube de cet acide normal représente 0,028 grammes de chaux. Dans ses essais, (page 79, t. 1) il a reconnu que, pour 100^{cc} d'eau de chaux, il fallait employer 4^{cc},87 de cet acide. La dissolution calcaire contenait donc 0^{g},1363, ce qui correspond au chiffre donné plus haut.

Fig. 120.

Cent centim. cubes d'eau de chaux récemment préparée à chaud et refroidie à 15° contenaient 0,0774 % de base. 100^{cc} de cette eau refroidie à la température de la glace fondante contenaient 0,140 % de chaux.

Quand on fait les essais avec l'acide de Mohr, on peut se servir de la burette représentée figure 120 et qu'on remplit d'acide titré jusqu'au zéro. On verse d'autre part à l'aide d'une burette, dans un verre ou une capsule, 100^{cc} du jus à analyser; on y ajoute quelques gouttes de teinture de tournesol, et on dispose le verre sous le bec de la burette, d'où on fait écouler l'acide jusqu'à neutralisation complète. Il suffit de multiplier par 0,028 le nombre de centimètres cubes d'acides dépensés, pour connaître le taux % du jus en chaux ou en alcalis.

Dans les pages qui suivent, nous avons toujours supposé que le degré d'alcalinité du jus était rapporté à celui de l'eau de chaux prise comme unité.

En se servant de ce procédé, on peut suivre, avec une approximation très-suffisante et d'une façon très-rapide, les variations d'alcalinité du jus aux diverses phases de la fabrication. Ces résultats ont une grande importance dans la pratique et nous citerons comme exemple les chiffres relevés par deux méthodes différentes de fabrication.

A. Traitement des jus par l'acide carbonique.

	Alcalinité rapportée à l'eau de chaux.	Taux % réel des bases transformées en chaux.
Jus de betteraves après défécation .	2,50	0,34
- - après saturation de la chaux par l'acide carbonique . . .	0,66	0,090
- - après la 1e filtration	0,45	0,061
- - après la 2e filtration	0,30	0,040

B. Traitement sans acide carbonique mais avec première évaporation jusqu'à 10° Baumé.[1]

	Alcalinité rapportée à l'eau de chaux.	Taux % réel des bases transformées en chaux.
Jus déféqué	2,50	0,34
- - après évaporation jusqu'à 10° Baumé	1,80	0,245
- - après la 1e filtration . .	0,80	0,109
- - après la 2e filtration . .	0,65	0,088

On voit, dans l'exemple A, que le jus déféqué renfermait 2 fois ½ autant d'alcalis que l'eau de chaux après défécation, tandis que cette proportion s'est réduite à 0,66 après traitement par l'acide carbonique.

Le traitement par l'acide avait donc fait disparaître 2,50—0,66 ou 1,84 d'alcalinité correspondant à $1{,}84 \times 0{,}136$

1) Travail fréquemment adopté dans les fabriques allemandes. (N. d. Tr.)

ou 0,250 % de chaux, c'est-à-dire autant que les filtrations dans l'expérience B.

Or, tout fabricant habitué à comparer des chiffres de cette nature verra, par leur simple inspection, que la seconde méthode est défectueuse; les résultats de l'analyse ont donc un intérêt réel et un importance sérieuse, puisqu'ils peuvent motiver un changement radical du mode de fabrication. Il est en effet beaucoup plus économique d'enlever la chaux par l'acide carbonique que par les noirs dont la revivification donne lieu à des dépenses et à des pertes notables, proportionnelles à la dose des acides employés pour le lavage. D'autre part, il est bien constaté que le noir exerce une action décolorante plus marquée sur les jus ramenés à l'état à peu près neutre que sur ceux qui accusent une réaction franchement alcaline.

Stammer[1] indique que l'acide carbonique enlève au jus déféqué 50 % de sa teneur en chaux, tandis que le noir, (aussi dépouillé de chaux que possible) en absorberait de 60 à 70 %, (il ne donne pas d'ailleurs la proportion de noir employée).

Il se peut que du noir d'excellente qualité ait pour la chaux un pouvoir absorbant un peu plus grand que celui de l'acide carbonique, mais, avec les noirs habituellement en usage, on peut estimer que la pouvoir absorbant est le même, et c'est à ce fait qu'est dû le rôle important de l'acide carbonique dans une fabrique bien dirigée. Le gaz produit en effet, en tant que neutralisation, le même effet que la filtration, et les frais de production et d'outillage sont incomparablement moindres pour l'acide carbonique. Je ne pense donc pas qu'il y ait lieu de chercher à substituer un autre agent à l'acide carbonique pour neutraliser la chaux.

D'ailleurs, si, comme l'a fait Stammer, on veut apprécier l'effet de l'acide carbonique en le rapportant à l'alcalinité initiale du jus déféqué, il me semble qu'il convient de tenir grand compte de deux circonstances. La première, c'est que les jus

---

1) Journal polytechnique de Dingler. T. CLIV.

déféqués n'ont pas toujours la même alcalinité dans les diverses années; le chiffre qui l'exprime varie avec la qualité des betteraves.

Ainsi, j'ai trouvé plus haut, dans des jus de défécation, 2,50 d'alcalinité, c'est-à-dire 2 fois ½ autant d'alcali que dans l'eau de chaux. Dans d'autres années, ce rapport n'était plus que de 1,50 ou 1,80. Michaëlis a trouvé, dans les expériences citées plus haut, des jus déféqués ne contenant que l'alcalinité de l'eau de chaux, ce qui peut effectivement se rencontrer avec de bonnes betteraves.

La seconde condition qu'il importe de ne pas perdre de vue, c'est le point jusqu'auquel est poussée la précipitation de la chaux par l'acide carbonique. Les uns ne saturent pas entièrement la chaux; d'autres annoncent qu'ils neutralisent exactement, d'autres enfin qu'ils laissent un excès d'acide dans le jus. Que signifient ces expressions si elles ne sont pas suivies par des chiffres précis? tant que les faits ne sont pas ramenés à des nombres, on ne peut faire aucune comparaison, aucun raisonnement sérieux.

C'est un fait intéressant que la manière dont se comporte les jus soumis à une première évaporation jusqu'à 10° après défécation. La teneur en chaux devrait augmenter par le fait même de la concentration du liquide, et néanmoins, elle diminue dans une proportion notable, comme l'indiquent les chiffres de l'essai B cité plus haut. Cette anomalie explique, ce me semble, pourquoi certains fabricants tiennent tant à une évaporation jusqu'à 10° Baumé. L'absorption de la chaux ne leur coûterait ainsi que du combustible et surtout de la main-d'œuvre, car la chaux se sépare en effet par la cuisson: elle se dépose sur les serpentins et y forme des croutes assez épaisses pour que la transmission de la chaleur soit notablement diminuée et qu'on soit obligé de procéder à de fréquents nettoyages. Néanmoins, c'est un procédé que nous ne saurions recommander, car les frais d'installation sont presque les mêmes que pour l'acide carbonique et les résultats sont loin,

comme le prouvent les chiffres donnés plus haut, d'être aussi favorables.

Quelques fabricants prétendent que, par cette première évaporation, ils chassent l'ammoniaque; le malheur est qu'ils confondent l'effet avec la cause. L'ammoniaque qui se dégage à une température élevée ne prend naissance que dans l'acte même de l'évaporation, mais la production ultérieure de l'ammoniaque n'est nullement empêchée par cette première élimination.

Le jus de betteraves retient encore, après ce premier traitement, de la chaux et des substances organiques; aussitôt qu'on le soumet à une seconde évaporation, il se forme une nouvelle proportion d'ammoniaque, et cette décomposition persiste jusqu'à ce que le jus concentré à 20° Baumé soit filtré et envoyé à la cuite. D'après les analyses de L. Krieg, avec des jus travaillés d'après cette méthode, l'eau de condensation recueillie dans la seconde caisse de l'appareil à double effet contenait 0,3 à 0,5 % d'ammoniaque. Ces chiffres prouvent bien que la première évaporation jusqu'à 10° Baumé n'avait pas chassé toute l'ammoniaque, comme on le prétend généralement, mais que cette matière s'était reformée postérieurement dans les appareils, malgré la faible température à laquelle s'effectue l'ébullition.

Il est vrai que, par l'ébullition des jus en présence de la chaux et des alcalis, les matières organiques se décomposent, comme le prouve d'ailleurs la production d'ammoniaque, et c'est à cette action que beaucoup de fabricants tiennent. Mais, si l'on voulait arriver à la destruction complète de tous les composés organiques, ce n'est pas jusqu'à 10° Baumé seulement qu'il faudrait évaporer le jus, il faudrait le réduire au tiers de son volume. La méthode de l'évaporation préparatoire est donc en réalité bien inférieure à la saturation par l'acide carbonique suivie d'une filtration énergique qui enlève aux jus tous les composés organiques à base de chaux et assure une cuite satisfaisante.

D'ailleurs, l'évaporation préparatoire donne naissance à des inconvénients d'un autre ordre. Dans cette opération, le jus

est maintenu à la température de l'ébullition en présence des alcalis libres. Or, une partie de potasse caustique se combine avec 5,422 parties de sucre et abaisse notablement dans le travail de cuisson le degré polarimétrique du sucre. Par exemple, si après avoir neutralisé la potasse, on analyse le sucre, on trouve qu'il marque au polarimètre de 0°,63 à 0°,81 en moins qu'avant l'opération (Michaëlis).[1]

D'autre part, si les jus renferment, comme il arrive souvent à la fin d'une campagne, de sucre de fruit ou interverti, ce sucre se décompose, comme on le sait, en présence les alcalis; la dissolution se colore en brun, et le travail devient beaucoup plus difficile.

En résumé, si l'évaporation préparatoire peut, avec des jus de bonne nature et un sucre non altéré, donner des résultats satisfaisants, on en obtient de beaucoup meilleurs en traitant par l'acide carbonique et filtrant les jus sur du noir bien revivifié. Ces opérations enlèvent aux jus toutes les matières qui s'opposent à la cuite, soit que le carbonate de chaux les retienne en se précipitant, soit que le noir les arrête dans le travail des filtres (Michaëlis).

Je partage entièrement cette manière de voir. Au lieu de recourir à l'évaporation préparatoire pour détruire les corps organiques, il vaut mieux chercher des moyens plus actifs, et opérer cette séparation autant que possible avant la filtration: L'acide carbonique résout d'une manière satisfaisante ce problème. Le tannin pourrait également assurer une précipitation complète et j'ai l'espoir qu'un jour ou l'autre son emploi en sucrerie fera faire à nos méthodes actuelles un progrès considérable.

Dans le travail tel qu'il se fait aujourd'hui, une partie de la chaux est séparée dans les filtres; il importe donc d'étudier l'effet du noir pour cette séparation et avant tout de tenir compte de sa quantité; il est en effet évident qu'un noir déjà saturé de chaux ne peut en absorber la même proportion que

---

1) Journ. de l'assoc. des fab. allem. T. I, p. 505.

s'il est dans des conditions normales. Les travaux de Schatten cités plus haut donnent à ce sujet tous les renseignements nécessaires.

Une seconde question est de savoir combien le noir absorbe de chaux lorsqu'il est employé en quantités diverses par rapport à la quantité de jus. Quelques essais faits dans ce sens m'ont donné les résultats suivants. En employant des qualités de noir les plus diverses, on trouva que le degré d'alcalinité des jus diminuait dans les rapports suivants pour différentes proportions de noir.

Avec 10 % de noir,	l'alcalinité	diminua	de	0,63	à 0,33	soit 59 %
- 20 - [1]	-	-	-	1,23	à 0,83	- 67 -
- 30 -	-	-	-	1,09	à 0,63	- 57 -
- 40 -	-	-	-	1,35	à 0,61	- 46 -
- 50 -	-	-	-	0,81	à 0,35	- 43 -

Ces taux % sont rapportés au degré initial d'alcalinité des jus.

Les résultats de ce tableau ne sauraient évidemment avoir une valeur absolue, puisqu'on employait des noirs de différentes qualités et de sortes quelques fois très-mauvaises, sans que le mélange fût toujours identique. D'autre part, dans la série nombreuse d'expériences (30) qui furent faites sur cette question, les jus n'avaient pas toujours la même valeur. Néanmoins, en se reportant à la dernière colonne et faisant abstraction du second nombre évidemment à éliminer, on voit qu'en employant des quantités variables de noir la diminution du taux d'alcalinité varie de 59 à 43 %. Du reste, il importe de ne pas oublier que le degré d'alcalinité représente, non seulement la chaux mais encore les alcalis, dont l'absorption par le noir est plus difficile.

Les résultats suivants fournissent des données plus certaines: ils proviennent d'essais où l'on n'employa que du noir neuf non revivifié et par suite de qualité constante. Dans

---

1) Dans cet essai le noir était plus ancien que dans les autres.

toutes les expériences, le jus resta le même temps en contact avec le noir.

Des jús déféqués dont l'alcalinité était de 3, c'est-à-dire triple de celle de l'eau de chaux, furent filtrés et leur alcalinité après filtration se trouva réduite à:

1,66	pour	20 %	de noir	neuf
1,16	-	30 %	-	-
0,83	-	40 %	-	-

On voit, d'après ces chiffres, que la quantité d'alcalinité disparue est dans un rapport constant avec le poids du noir employé.

Remarquons en passant qu'en même temps on traita par de l'acide carbonique pur des jus de même qualité et que le taux d'alcalinité se réduisit à 0,83. L'acide carbonique dans cet essai avait donc produit le même résultat que 40% de noir laissé en contact pendant une heure avec le jus.

Du reste, la forme même de la filtration paraît influer sur l'absorption de la chaux. Ainsi, en filtrant sur plusieurs filtres, c'est-à-dire en faisant remonter les jus, le produit de la filtration n'accusait que 0,80 d'alcalinité, tandis qu'en employant le même noir et dans la même proportion, pour la même quantité de jus et la même durée de travail, on trouvait avec un seul filtre 0,85 d'alcalinité.

Dans la pratique, il est très-important de connaître comment varie l'alcalinité d'un filtre pendant la durée de son service d'heure en heure. J'ai trouvé, comme moyenne d'un grand nombre d'observations, que les produits de la filtration contenaient:

Pendant la	1re	heure	de service du filtre	0,27	d'alcalinité
-	2e	-	- -	0,39	-
-	3e	-	- -	0,43	-
-	4e	-	- -	0,54	-
-	5e	-	- -	0,84	-
-	6e	-	- -	1,00	-
			Soit, en moyenne,	0,58	-

C'est un peu plus que la moitié de l'alcalinité de l'eau de chaux, mais il convient de noter que, dans les deux ou trois premières heures, on filtrait des sirops, et le reste du temps des jus. Le sirop n'avait donc conservé en moyenne que 0,36 d'alcalinité.

Nous devons ajouter, que d'après toutes les observations, les eaux de dégraissage des filtres coulent beaucoup plus alcalines que les jus. Ainsi, un jus à 20,5 % Balling ou 11°,3 Baumé conservant une alcalinité moyenne de 0,48, les eaux de dégraissage à 5 % Balling ou 2°,7 Baumé donnent comme taux d'alcalinité 0,50. Or, si l'on ramène ces derniers liquides à la densité des jus, comme cela se fait en réalité puisqu'on les évapore, on voit que les eaux de dégraissage conserveront une alcalinité considérable par rapport à celle des jus pris à la même densité.

Fig. 121.

Il semblerait d'après cela que les eaux de dégraissage, par suite de leur moindre densité, soient en état de redissoudre une partie des alcalis absorbés par le noir. S'il en était ainsi, il pourrait y avoir intérêt, lorsqu'on met un filtre hors de service, à le laisser laver par l'eau beaucoup plus longtemps qu'on ne le fait d'habitude; on dépouillerait ainsi le noir, d'une manière simple et économique, d'une partie de ses alcalis, et on pourrait réduire la proportion d'acide nécessaire pour sa revivification.

La fig. 121 indique par une seule courbe et d'une façon parfaitement nette les variations dans l'effet des filtres. Elle permet de suivre l'alcalinité du jus aux diverses périodes de la fabrication. Les chiffres placés à gauche, de 2,50 à 0, indiquent le taux d'alcalinité, celui de l'eau de chaux étant pris pour unité.

Les lettres inscrites au-dessus de chaque ordonnée verticale correspondent aux diverses phases de la fabrication, savoir:

a. après défécation.
b. après saturation par l'acide carbonique.
c. dans la 1re heure de filtration.
d. - 2e - -
e. - 3e - -
f. - 4e - -
g. - 5e - -
h. - 6e - -

Chapitre IV.

Décoloration et épuration des jus déféqués.

Après avoir étudié dans les pages qui précèdent les effets du noir au point de vue de l'alcalinité et de la séparation de la chaux, il nous reste à parler d'une autre de ses actions, de son pouvoir décolorant sur les jus. C'est du reste une question qui ne doit venir qu'en seconde ligne, car la nuance des jus n'a qu'une importance médiocre et ne correspond pas toujours à la valeur réelle du jus. Ainsi, une dissolution de sucre ou un jus fortement coloré pourra donner, dans certaines circonstances, un rendement en sucre notablement plus élevé qu'un autre jus de nuance parfaitement claire. Or, en fabrication, c'est le rendement surtout qu'il importe d'améliorer, beaucoup plus que l'aspect du produit.

Les moyens dont nous disposons pour apprécier la décoloration d'un jus et l'exprimer en nombres, sont assez restreints: nous n'avons d'ailleurs pas d'unité de coloration, c'est-à-dire de type absolu et invariable auquel on puisse rapporter chaque observation. On ne saurait donc compter sur des résultats rigoureux, et l'on ne peut que se borner à des comparaisons plus ou moins exactes. Les instruments connus peuvent bien apprendre si un liquide est plus foncé qu'un autre, et indiquer

le rapport de leurs nuances, mais rien de plus. Or, on peut arriver au même résultat d'une façon plus simple et plus expéditive. Il suffit de prendre deux éprouvettes, comme celles qu'on emploie pour doser l'alcalinité, de remplir l'une d'elles avec le jus clair, l'autre jusqu'à une certaine division avec le jus dont on veut comparer la nuance. On étend d'eau le jus le plus foncé jusqu'à ce qu'il accuse la même nuance que le type et l'on constate la proportion d'eau qu'il a fallu ajouter pour ramener les deux jus à l'identité de coloration. Ainsi, supposons qu'on prenne comme type de comparaison un jus clair filtré deux fois, et qu'on veuille lui comparer un jus de défécation. On prend 10^{cc} de ce dernier dans une éprouvette graduée. S'il faut ajouter de l'eau jusqu'au trait 20 pour que la nuance devienne la même que celle du jus filtré, on dira que le jus déféqué est deux fois plus coloré que l'autre. Dans la pratique, on suppose toujours que l'on opère sur 10^{cc} de jus à essayer, et on se borne à indiquer le volume total qu'on a dû lui donner pour le ramener à la nuance voulue. Ainsi, dans le cas cité plus haut, on dira simplement que le jus déféqué a une coloration de 20, en sous-entendant que l'on opère toujours sur une quantité fixe de 10^{cc}. C'est le mode de calcul que nous adopterons dans tout le reste de cet ouvrage, attendu que, selon nous, c'est la méthode la plus simple pour les besoins dans la pratique. Il peut être utile de faire remarquer à ce propos que l'eau pure employée pour étendre les jus détermine souvent dans les liquides un trouble qu'on évite en se servant d'eau de chaux filtrée.

Comme base des comparaisons, nous prendrons le jus dans la première phase de la fabrication où il est clair, c'est-à-dire après la défécation. Mais déjà, pour cet étalon de teinte, nous rencontrons une première difficulté: tous les jus déféqués n'ont pas une nuance identique. La qualité des betteraves, la méthode de culture, l'époque de leur travail, les soins plus ou moins grands, plus ou moins intelligents, apportés à la conservation des racines, la dose plus ou moins forte de chaux ajoutée à la défécation, sont autant de conditions qui peuvent

influer d'une manière très-sensible sur la nuance du jus déféqué. Si donc, et malgré cette incertitude, nous prenons comme terme de comparaison le jus déféqué, c'est que nous n'en connaissons aucun qui soit préférable, mais nous ne devons pas oublier que déjà par ce fait même, tous nos résultats sont plus ou moins entachés d'inexactitude.

On a bien, il est vrai, construit des instruments pour mesurer les nuances, et on leur a donné de beaux noms, mais en réalité, pour le jus de betteraves, la coloration n'a pas une importance telle qu'il y ait lieu de recourir à des appareils toujours compliqués ou délicats.

La décoloration des jus dans le cours de la fabrication dépend d'un grand nombre de causes. Ainsi, la grosseur du noir est un élément important. A quantité de noir égale à la filtration, le noir fin décolore beaucoup plus que le noir en gros grains, mais on ne saurait descendre au dessous d'une certaine grosseur sans se créer de sérieuses difficultés dans le travail. Notons ici en passant que la grosseur du noir se détermine très-simplement d'après la largeur des tamis à travers lesquels il peut passer. On emploie d'habitude des tamis présentant 500 mailles par décimètre carré.

La quantité de noir employée, toutes choses égales d'ailleurs, influe également sur la décoloration. Sur une moyenne de 20 essais, en faisant usage de noirs de qualités très-variables mais de grain égal, et en laissant à chaque filtration la même durée, j'ai trouvé que:

10 %	de noir	décoloraient	jusqu'à	18
20 -	-	-	-	22
30 -	-	-	-	32
40 -	-	-	-	38
50 -	-	-	-	66

On voit que la décoloration est proportionnelle à la quantité de noir.

La qualité du noir n'a pas moins d'importance. Des noirs de diverses qualités, employés en même quantité à grain égal et pendant le même temps, donnèrent comme décoloration:

60 pour du noir neuf récemment calciné.
34 - de raffinage déjà employé.
27 - vieux à 12,4 % de teneur en chaux.
20 - vieux à 13,5 % de teneur en chaux.

Il ne faudrait pas conclure des chiffres qui précèdent que, dans les noirs vieux, c'est la présence de la chaux seule qui abaisse le pouvoir décolorant. Après un certain usage et surtout quand ils n'ont pas été souvent soumis à une fermentation énergique, les noirs conservent les substances empruntées au jus; leurs pores s'emplissent et se bouchent, et leur pouvoir absorbant pour les matières colorantes diminue notablement, sans que leur teneur en chaux intervienne dans cette action.

Enfin, la forme des filtres influe, comme la marche et la méthode de filtration, sur la décoloration. Ainsi, la double filtration avec deux appareils décolore jusqu'à 36, tandis que la même quantité de noir ne donne, employée dans un seul filtre, que 27. Le pouvoir décolorant serait encore moindre si, au lieu d'employer des filtres plus hauts que larges, on effectuait le travail dans des appareils de grand diamètre et de faible hauteur.

Cette différence due à une simple variation dans la forme des appareils fait comprendre immédiatement le rôle important que peuvent jouer la marche et le règlementation du travail des filtres. Le fabricant peut donc, à l'aide des éléments dont il dispose, régler le degré de décoloration et au besoin le pousser très-loin, ce qui peut être utile dans certains cas particuliers.

Avant de terminer ce chapitre, il nous reste à examiner la marche d'un filtre aux divers moments de son service, c'est-à-dire les variations de son pouvoir décolorant avec le temps.

En opérant sur des jus, on trouve, par exemple, pour la décoloration:

dans	la	1re	heure	120
-	-	2e	-	100
-	-	3e	-	80
-	-	4e	-	50.
-	-	5e	-	40
-	-	6e	-	20

Ces chiffres prouvent qu'il est facile, en réglant la durée de travail des filtres, d'obtenir des produits parfaitement clairs.

Beaucoup de fabricants estiment que la concentration plus ou moins grande des jus influe sur le pouvoir décolorant des noirs. En admettant que cette influence existât, elle n'aurait certainement pas l'importance qu'on lui prête souvent. On cite, il est vrai, ce fait, que des noirs, ne décolorant les sirops que jusqu'à 20, décolorent ensuite les jus qui leur succèdent à la filtration jusqu'à 60, mais ce fait n'est pas en contradiction avec les résultats cités plus haut. Les jus sont par eux-mêmes naturellement plus clairs que les sirops, par suite de la forte proportion d'eau qu'ils renferment et c'est sans doute là le motif d'erreurs dans l'appréciation du pouvoir décolorant.

En moyenne, et dans un travail en grand, le jus sortant des filtres est décoloré entre 30 et 80 par rapport au jus de la défécation. Les sirops, quand ils arrivent à la cuite, ont une nuance de 20 à 80 en prenant également comme type le jus déféqué. Il est dès-lors facile, en déterminant la nuance à ces deux phases du travail, de contrôler la marche de la filtration entière et les chiffres que nous venons de citer peuvent être pris comme base d'évaluation.

On a proposé, pour exprimer le pouvoir décolorant des noirs, de mesurer leur effet sur une dissolution d'indigo dans l'acide sulfurique, mais, comme le fait remarquer Muspratt dans son traité de Chimie, le pouvoir décolorant relatif des divers noirs est loin d'être le même pour l'indigo et pour le sirop. Les évaluations fondées sur la décoloration de l'indigo ne sauraient donc avoir une importance réelle et le fabricant,

qui n'emploie les noirs que pour des liqueurs sucrées, doit aussi ne rapporter leur valeur qu'à leur action sur des liquides analogues.

Notons ici que, dans certaines circonstances, l'acide carbonique détermine une coloration des jus et opère ainsi un effet contraire à celui du noir. On observe en effet que l'acide carbonique, même pur, laisse souvent les jus plus colorés après saturation qu'avant. • Cet accident se produit surtout lorsque les betteraves sont de qualité médiocre ou ont souffert pendant leur conservation. D'autre part, le degré auquel on pousse la saturation parait aussi avoir une certaine influence. Ainsi, c'est un fait bien constaté qu'avec la saturation multiple, c'est-à-dire en ajoutant à plusieurs reprises de la chaux et la précipitant ensuite sans que cette précipitation soit poussée trop loin, on obtient une décoloration plus marquée, tandis qu'en laissant arriver trop longtemps l'acide carbonique, les jus foncent en couleur.

Nous arrivons maintenant à l'effet essentiel du noir, à l'augmentation de richesse saccharine des jus. Les expériences portant sur ce sujet offrent de sérieuses difficultés, car une petite erreur d'observation peut fausser notablement l'exactitude des résultats. Il importe d'ailleurs avant tout de définir exactement la richesse ou la valeur d'un jus et, à cet égard, la méthode de Balling me parait la plus rationnelle.

La valeur d'une dissolution sucrée augmente évidemment avec la quantité de sucre qu'elle renferme. Une dissolution qui contiendrait en sucre exactement la quantité indiquée par l'aréomètre de Balling pour le total des matières en dissolution aurait la valeur maximum pour le fabricant, et cette valeur pourrait s'exprimer par le nombre 100. Balling, en partant de là, apprécie la valeur des jus par leur quotient de pureté, c'est-à-dire par le rapport entre le quantité de sucre réelle et le chiffre total des matières solides en dissolution, chiffre indiqué par son aréomètre. Moins un jus renfermera de sucre par rapport aux autres matières, moins son quotient sera élevé, moins aussi il aura de valeur pour le fabricant, puisqu'on aura

à éliminer ces matières étrangères, et qu'on obtiendra proportionnellement moins de sucre.

Quelques exemples feront ressortir plus clairement l'utilité de ces déterminations du quotient de pureté.

Supposons qu'un jus brut marque à l'aréomètre de Balling 16 % et que le polarimètre donne 12,64 de sucre. Le quotient de pureté sera de $100 \times \frac{12,64}{16}$ ou 79. Suivons ce jus dans les diverses phases de la fabrication, en déterminant pour chacune d'elles la valeur du quotient. La succession des chiffres auxquelles on arrivera nous donnera, et l'effet produit par chaque opération prise isolément, et une indication générale sur la méthode même de fabrication.

Or, j'ai trouvé, comme moyenne de 21 observations et en opérant sur le jus en marche courante, à diverses phases du travail, les résultats suivants:

	Taux % de sucre.		Quotient de pureté.
1° Jus brut	16,0	Bllg.	12,64	79
2° Jus déféqué	13,9	-	11,08	79,7
3° Jus saturé	13,66	-	11,09	81,2
4° Jus après évaporation préparatoire	23,26	-	19,05	81,9
5° Après la 1re filtration	23,17	-	20,40	88,0
6° Après la 2e filtration	45,00	-	40,59	90,2

Avec ces chiffres, il est facile de représenter graphiquement les résultats de l'épuration du jus.

Fig. 122.

Dans la fig. 122, les chiffres de 1 à 6 correspondent aux diverses phases de la fabrication données ci-dessus. Les nombres inscrits sur la gauche, de 79 à 90, sont les quotients successifs de pureté.

En construisant les diverses courbes analogues, on aura une idée parfaitement nette de la valeur et des résultats des diverses méthodes de travail. Ces courbes permettent

d'ailleurs en même temps de calculer à l'avance la proportion de sucre qu'on pourra retirer de 100 parties, soit de jus, soit de masse cuite. Grâce à l'emploi du polarimètre et à la détermination des données qui précèdent, le fabricant travaille à l'abri de tout mécompte. Il peut par là même, et en s'appuyant sur les résultats trouvés, laisser à sa masse cuite telle ou telle composition, telle ou telle proportion des divers éléments, car la simple inspection des chiffres d'expérience lui indique de quel côté il doit modifier son travail ou perfectionner ses méthodes.

Enfin, il y trouve un moyen assuré de contrôler et de régler la marche de la fabrication.

Les indications fournies par les courbes dont il s'agit, au point de vue de l'épuration des jus, seraient encore plus précieuses si, au lieu du quotient du pureté introduit dans les calculs, on pouvait déterminer facilement la proportion de sucre pour 100 parties réelles de matières étrangères. Si l'aréomètre de Bálling donnait le taux réel des substances solides du jus, il est clair que ce chiffre serait immédiatement comparable au taux % de sucre donné par le polarimètre. Mais, en réalité, l'appareil de Balling ne donne pas le taux réel de substances dans les jus, et, suivant que ces substances varient, la différence entre le taux réel et le taux indiqué par l'aréomètre varie elle-même plus ou moins. J'ai cherché à remédier à cet inconvénient en rapportant tous les essais à une densité invariable de 1,10 ce qui conduit à concentrer certains jus, à en étendre d'autres. J'ai ainsi trouvé, comme valeurs moyennes:

2°, pour le jus	déféqué	75 de sucre . .	dans 100 de matières solides.
3°, -	- saturé	75 de sucre . .	
5°, -	- filtré une fois	85 de sucre	
6°, -	- filtré deux fois	86,6 -	

Ces données sont surtout importantes parce qu'elles indiquent à première vue le rendement en sucre sur 100 de masse cuite sèche et que le fabricant sait ainsi, à chaque phase du travail, le rendement en sucre qu'il obtiendrait si, au lieu de continuer l'épuration du jus, il l'envoyait immédiatement à la cuite. Ainsi,

si l'on admet avec Ventzke qu'une partie de sels étrangers entraîne une perte nécessaire dans la pratique d'une partie de sucre, on retirerait, dans l'exemple précédent:

2. du jus déféqué à 75 de sucre sur 100 de matières solides, 50 de sucre pour 100 de masse cuite.

3. du jus saturé à 75 de sucre sur 100 de matières solides, 50 de sucre pour 100 de masse cuïte.

5. du jus filtré une fois à 85 de sucre sur 100 de matières solides, 70 de sucre pour 100 de masse cuite.

6. du jus filtré deux fois à 86,6 de sucre sur 100 de matières solides 73,2 de sucre pour 100 de masse cuite.

On voit qu'en s'aidant du polarimètre, un fabricant intelligent peut, avec ces déterminations, fixer à l'avance le rendement en sucre qu'il veut obtenir.

Ces chiffres indiquent également au fabricant s'il a intérêt à poursuivre l'épuration du jus, et jusqu'à quel point. Malheureusement, les essais faits d'après cette méthode sont assez délicats pour le jus naturel qu'il faut ramener à la densité de 1,10 et qui, dans cette concentration, s'altère toujours, même quand on évapore dans le vide: il se forme des dépôts qui diminuent d'autant le taux des matières solides et faussent le rapport entre le sucre et ces matières.

Ainsi, ai-je cherché à éviter cet inconvénient en construisant un aréomètre pour les liquides à 1,0488 de densité (chiffre correspondant à une concentration moitié moindre et qui se prête mieux aux essais de jus). Il suffit de multiplier par 2 les résultats trouvés.

Du reste, on se trouve à peu près à l'abri de cette difficulté lorsque l'on fait usage du polarimètre de Soleil, car on peut opérer alors directement sur des jus à la densité de 1,067, qui est à peu près la densité des jus fournis par les bonnes betteraves. En tout cas, le travail se réduit alors à une concentration jusqu'à 15,55 % Balling ou 9° Baumé, ce qui se fait rapidement.

tique, on n'obtient que des produits beaucoup moins actifs, beaucoup moins propres à épurer et enrichir les jus que si l'on a recours au traitement par l'acide chlorhydrique.

Nous venons d'examiner à un point de vue d'ensemble les moyens d'épurer les jus ou d'absorber les matières étrangères, mais il peut être intéressant d'étudier comment varie la quantité des principes organiques ou minéraux dans les différentes phases de la fabrication.

Les éléments minéraux se déterminent par l'incinération des jus. D'après mes expériences, et en supposant les jus ramenés à une densité constante, on trouve pour la proportion de ces matières les chiffres suivants, qu'il convient de rapporter à la teneur en cendres du jus brut prise pour unité:

Le jus naturel donne . .	0,456 %	de cendres soit	100
Le jus déféqué - . . .	0,852 %	- -	187
Le jus saturé - . . .	0,6 %	- -	132
Le jus filtré une fois donne	0,37 %	- -	81
Le jus filtré deux fois -	0,13 %	- -	29

On voit d'après ces chiffres que la filtration sur le noir représente, au point de vue de l'élimination des sels, l'opération la plus importante.

Quant aux matières organiques, pour des jus d'égale densité, elles varient dans le jus brut de ½ à ⅕ %. Si on prend la teneur du jus brut comme unité et qu'on la représente par 100, on trouve:

Dans le jus naturel 100.
Dans le jus déféqué et saturé de 92 à 87.
Dans le jus filtré une fois de 76 à 70.
Dans les sirops de 24 à 43,6.

On a donc enlevé pour chaque phase du travail:

Par la défécation et la saturation de .	8 à 13	parties p. 100
Par une seule filtration de	16 à 17	-
Par la 2e filtration et l'évaporation de	42 à 26,4	-
Soit au total	65 à 56,4	-
et il reste dans les jus de	34 à 43,6	-
Total	100 à 100	-

Ces chiffres prouvent que la séparation de ces matières du jus est beaucoup moins complète qu'on ne l'admet généralement. De semblables essais sont d'ailleurs très-importants, car en même temps qu'ils expriment nettement les progrès successifs en cours de travail, ils permettent d'apprécier avec certitude, et la qualité des betteraves, et les divers procédés de fabrication.

Les principes organiques ont une grande tendance à déterminer la fermentation des jus et, par suite, la destruction du sucre, il est donc essentiel de les éliminer le plus rapidement possible. Une dissolution de sucre pur se conserve plusieurs jours sans altération, mais plus elle renferme de corps organiques, et plus la fermentation s'y met vite. Si donc on pouvait séparer des jus la totalité des matières organiques, le travail de la fabrication serait incomparablement plus simple.

Dans l'état actuel de la fabrication, la chaux est l'agent le plus efficace pour préserver le jus de ces altérations, et c'est peut-être pour ce motif que le procédé de saturation par l'acide carbonique a trouvé au début tant d'adversaires. On allait à cette époque jusqu'à prétendre que les jus déféqués devaient accuser une alcalinité égale au moins à 0,8 de celle de l'eau de chaux pour pouvoir donner de bonnes masses cuites. — Cette manière de voir était alors motivée, parce qu'on employait, pour peu de jus, de grands filtres où les matières séjournaient longtemps dans des conditions favorables à la fermentation et tendaient à s'altérer. D'autre part, on n'attachait pas autant d'importance qu'aujourd'hui à travailler le jus le plus rapidement possible. Comme le jus n'entre en fermentation qu'au bout d'un certain temps, il est clair que quand on le travaille vite, il lui faut moins de chaux pour se conserver que si on le laisse exposé longtemps aux changements de température et à toutes les influences nuisibles.

Aussi, fut-on amené dans beaucoup de fabriques, lorsque l'on eut adopté le travail à l'acide carbonique, à réduire la grandeur des filtres. On força de la sorte le jus à passer plus vite dans les différentes phases du travail ainsi que l'exigeait la réduction de sa teneur en chaux. Du reste, comme vérification

de ce rôle de la chaux, nous rappellerons qu'une quantité suffisante de cette matière permet de conserver le jus pendant des années comme l'ont montré Kuhlmann, puis Maumené.

Si la quantité des éléments organiques que renferme le jus est un élément essentiel pour sa conservation, la rapidité du travail n'a pas moins d'importance au même point de vue. On peut estimer ainsi qu'il suit la durée du séjour du jus dans les diverses parties de son traitement:

Remplissage des chaudières à déféquer, au plus . . .	1h.
Défécation et vidange des chaudières	1
Saturation et dépôt jusqu'à la filtration	1
Durée de la filtration	1
Concentration jusqu'au 7e du volume initial	7
Filtration des sirops concentrés	1
Réunion des sirops et cuite	3
	15.

Il serait donc possible, en 15 heures, de faire passer le jus de la première période du travail à la cuite. Cependant, certaines parties des produits, les eaux de dégraissage notamment, séjournent beaucoup plus longtemps dans l'atelier et sont par suite plus exposées que le reste à s'altérer. Aussi, est-il essentiel de séparer soigneusement les jus des diverses provenances. — Malheureusement, le travail n'est pas partout aussi rapide que nous l'avons supposé. Certaines fabriques sont organisées de telle sorte que le jus n'arrive à la cuite qu'au bout de 20 ou 30 heures. Aussi ces fabriques n'obtiennent-elles jamais d'aussi bons résultats, toutes choses égales d'ailleurs, que celles où les opérations sont plus rapidement menées. — En résumé, la rapidité du travail, la propreté minutieuse des appareils, telles sont les conditions indispensables du travail des jus.

La séparation de la totalité ou de la presque totalité des principes organiques dans le jus étendu offrirait assurément et plus de sécurité et la garantie d'un meilleur rendement. La propriété de se conserver est en effet dans les jus en rapport direct avec leur degré de pureté. Ainsi, les premiers jus filtrés

sur du noir neuf et renfermant 86,8 % de sucre sur 100 de matières solides se conservent 20 heures sans la moindre trace d'altération, tandis que les jus qui passent à la fin de la filtration, et qui marquent 10 % Balling avec 78 % de sucre, accusent au bout de 20 heures des quantités sensibles de sucre interverti. Les eaux de dégraissage, qui donnent 1,8 % Balling avec 71 de sucre sur 100 de matières solides, s'altèrent déjà au bout de 7 heures, malgré la quantité de chaux qu'elles renferment.

Comme la chaux agit pour prévenir ces altérations, on a soin, et à juste titre, d'en ajouter aux jus une fois filtrés lorsque ces jus en renferment trop peu. Dans cette phase de la fabrication et avec les méthodes actuelles, la teneur en chaux ne parait pas devoir descendre au-dessous de 0,3 de celle de l'eau de chaux, soit 0,0141 % (0,3 × 0,136); du reste, cette proportion se trouve très-notablement accrue par la concentration du jus. Avec cette teneur, l'évaporation ne parait faire aucun tort aux matières.

En opérant sur des chaudières à évaporer à air libre, j'ai trouvé comme moyenne de 29 essais faits en marche courante, que le jus, évaporé une première fois et marquant 23,74 % Balling, renfermait 19,08 % de sucre, ce qui correspond à un quotient de pureté de 80,4.

Le sirop produit marquait 52,95 % Balling et 43,24 % de sucre soit 81,7 comme quotient de pureté.

Ainsi, pendant l'évaporation, le jus (peut-être par suite de la précipitation de sels calcaires organiques) s'améliorerait plutôt qu'il ne perdrait de sa qualité.

Avec des appareils dans le vide, par suite avec des températures très-faibles, j'ai trouvé, comme résultats de douze essais, que le sirop produit à 46 % Balling contenait 86,7 de sucre sur 100 de matières solides, tandis que les jus n'en accusaient avant évaporation que 85,5. Ainsi, dans l'évaporation à basse température, le jus s'améliore. Ce résultat ne peut être dû qu'à l'action de la chaux sur les substances organiques, action confirmée par le développement d'ammoniaque. Les chiffres

cités plus haut battent d'ailleurs en brêche l'assertion souvent émise que la destruction des matières organiques ne se ferait qu'à des températures élevées, et dans des chaudières ouvertes. Même à la température ordinaire, la chaux agit sur les matières organiques, comme le prouvent les expériences et la méthode de Maumené pour la conservation du jus naturel.

Quelques essais exécutés sur les mêmes jus me donnèrent, avec 20 % de noir, 82,5 % de sucre sur 100 de matières solides, et pour 30 % de noir 84,5 % de sucre, chiffres qui, dans la pratique, correspondent à un rendement réel en sucre de 65 % dans le premier cas, de 69 dans le second. Cette différence de 4 parties de sucre sur 100 parties de masse cuite desséchée suffirait largement, non seulement pour dédommager de l'emploi de 10 % de noir en plus, mais encore pour donner un profit net assez élevé. Si, d'habitude, on n'emploie que 20 % de noir au lieu de 30, la raison en parait assez difficile à trouver, car il suffirait d'un simple calcul pour déterminer dans chaque cas particulier, en tenant compte des conditions locales, la solution la plus avantageuse, pécuniairement parlant.

On n'a d'ailleurs pas à craindre que l'emploi de noir en excès entraine une perte de sucre, car le noir n'absorbe pas de sucre, et se borne à retenir quelques parties de jus. Or, cette perte de jus ne parait pas croître proportionnellement à la quantité de noir employée, elle est uniquement fonction de la manière dont on dirige le dégraissage des filtres. En faisant quelques essais à ce sujet, j'ai trouvé pour les quantités de jus recueillies les chiffres suivants:

Proportion de noir employé % de jus.	Taux % de jus coulant directement des filtres sans eaux de dégraissage.	Eaux de dégraissage ramenées à la densité normale des jus. Taux %.	Total du jus retiré des filtres rapporté à 100 de jus soumis à la filtration.	Nombre des essais.
10	89,9	5,5	95,4	2
20	86,7	9,3	96,0	6
30	84,0	12,1	96,1	15
40	79,1	15,4	94,5	5
50	75,6	21,0	96,6	3

On voit que la quantité de jus qui coule directement, ainsi que celle contenue dans les eaux de dégraissage, varient à mesure qu'on augmente la proportion de noir, mais le total du jus que l'on retire parait à peu près indépendant de cette proportion de noir. La perte plus ou moins considérable de sucre à la filtration semble donc exclusivement provenir de la manière dont s'exécute le dégraissage.

Dans le chapitre spécial qui sera consacré plus loin à la filtration, ce thème pour ainsi dire inépuisable, je reviendrai plus en détail sur l'effet de la filtration à différents moments du service de chaque filtre et j'aurai à signaler l'influence considérable qu'exerce sur la purification des jus la forme même de la filtration.

On pourrait en effet supposer a priori que la proportion du noir, sa qualité, la durée de son contact avec les jus d'une concentration donnée, fussent les seuls éléments dont on ait à tenir compte; mais l'expérience indique que la forme même et la disposition des appareils jouent un rôle important. Nous décrirons à ce sujet les installations rationnelles de certaines fabriques, notamment celles de Rechter à Konigsaal, installations qui donnent les plus beaux résultats qu'on ait encore obtenus avec la filtration.

Il nous reste à signaler ici que les eaux de dégraissage forment une dissolution très-impure; elles donnent rarement plus de 75 de sucre sur 100 de matières solides, tandis que les sirops marquent de 86 à 88 %. On devrait dès-lors éviter de travailler ces eaux de dégraissage en les mélangeant avec les jus qui ne peuvent que perdre de leur qualité à ce mélange. Les sirops qui marquent 86 de sucre sur 100 de substance désséchée donnent en effet un rendement en sucre de 72 %, tandis què les eaux de dégraissage à 75 % donnent seulement 50 % de sucre.

Or, en employant 20% de noir, on obtient, en nombres ronds:

86 parties de jus donnant comme rendement 72 % de sucre et
10 parties d'eaux de dégraissage donnant comme rendement 50 % de sucre soit, en tout,

96 parties de jus donnant 70 de sucre sur 100 parties de

masse cuite desséchée. Les eaux de dégraissage rendent plus difficile encore la séparation de cette proportion de sucre déjà faible par elle-même, et déterminent à la cuite, par leur mélange, des altérations du jus, tandis que le jus cuit seul donne un rendement plus avantageux et fournit un sucre plus beau, plus facile à séparer.

Aussi, a-t-on proposé depuis longtemps de faire revenir les eaux de dégraissage en arrière jusqu'à l'une des stations antérieures où elles trouvent des jus d'une composition équivalente à la leur. Malheureusement, le procédé est impraticable, car on s'exposerait à ne pas pouvoir conserver les jus. Mais on peut travailler les eaux de dégraissage seules ou mélangées avec du sirop vert qui a le même pouvoir de cristallisation. Cet emploi, avec de bonnes betteraves, serait probablement plus avantageux que d'utiliser les eaux, comme on l'a proposé, pour la fermentation du noir. On ne doit pas oublier en effet qu'elles contiennent beaucoup de matières étrangères précisément empruntées au noir. Or, si on remettait les eaux en contact avec le noir pour le purifier, le sucre pourrait bien se transformer peu à peu en acide et enlever la chaux au noir, mais en revanche les impuretés des eaux de dégraissage repasseraient dans le noir que ce mode de traitement ne saurait purifier. Il se produirait ainsi des inconvénients de même nature que ceux que l'on rencontre avec la mélasse.

Chapitre V.

De divers procédés proposés pour rendre inertes ou éliminer la chaux et les alcalis.

Nous avons étudié, dans les précédents chapitres, les méthodes les plus usitées dans la pratique pour l'épuration des jus, et nous avons vu que les agents auxquels on a le plus généralement recours sont la chaux et le noir animal. Toutefois, à côté de ce mode de travail, on a proposé un certain

nombre de méthodes destinées à rendre plus complète ou plus avantageuse l'épuration du jus et, bien que la plupart de ces projets n'aient pas été sanctionnés par la pratique, il n'en est pas moins intéressant de les rappeler ici, de mettre en évidence l'esprit qui a guidé les inventeurs dans leurs recherches.

Les combinaisons étrangères qui accompagnent le sucre dans les jus de betteraves, sont, comme on le sait, en partie de nature organique, en partie de nature minérale; ces dernières sont principalement des sels alcalins de potasse et de soude. Toute méthode qui se propose l'épuration du jus devrait donc éliminer à la fois, et d'une manière complète, ces deux sortes de principes. Mais, en réalité, comme ce problème offre des difficultés sérieuses que jusqu'ici l'on n'a pu vaincre que partiellement, on a cherché à simplifier la question en transformant les matières étrangères, dans le sein même du jus, en d'autres combinaisons moins nuisibles, de façon à augmenter la quantité ou la qualité du sucre produit. Les méthodes imaginées dans cet ordre d'idées ne constituent donc que des palliatifs, avec lesquels on a cherché à tourner les difficultés qu'on n'osait aborder de front.

Un des plus anciens procédés essayés dans cette voie est, sans contredit, la transformation en chlorures des alcalis mis en liberté dans le jus par le travail de la défécation.

Cette méthode est fondée sur ce fait d'expérience que le chlorure de potassium exerce sur le sucre une action moins nuisible, paralyse moins sa faculté de cristallisation, que la potasse caustique.

Du reste, un simple essai en petit permet de vérifier l'exactitude de ce point de départ. Si on dissout 10 parties de sucre dans de l'eau distillée et qu'on y ajoute 1 partie de potasse caustique, la liqueur exposée à l'air prend, même à la température ordinaire, une teinte jaune qui rappelle celle de la mélasse. Si on laisse l'eau s'évaporer lentement, il ne se produit que des cristaux très-rares et confus. La présence d'une partie de potasse empêche donc 10 parties de sucre de cristalliser.

Si maintenant on prend la même dissolution de 10 parties de sucre dans de l'eau distillée, qu'on y ajoute encore une partie de potasse libre, mais qu'on neutralise immédiatement cette base par de l'acide chlorhydrique, la liqueur conserve une teinte plus claire et l'eau, en s'évaporant, laisse déposer une grande quantité de cristaux gros et nerveux qui représentent la moitié et plus du sucre renfermé dans le liquide. Une partie de potasse caustique transformée en chlorure de potassium n'empêcherait donc l'extraction que de 5 parties de sucre. D'après Siemens, (Chimie de Muspratt), 1 p. de chlorure de sodium empêche de cristalliser 3 fois son poids de sucre. D'après Basset (Guide pratique du fabricant), 14^{p},592 de chlorure de sodium retiendraient dans les liquides 85^{p},408 de sucre et 17^{p},918 de chlorure de potassium 82^{p},082 de sucre.

En s'appuyant sur ces chiffres, on pourrait supposer que la transformation des alcalis en chlorures doit être avantageuse dans la pratique, mais on rencontre alors certains inconvénients de nature à contrebalancer le bénéfice qu'on pourrait attendre de cette méthode. D'abord, on ne saurait transformer ainsi en chlorures la totalité des alcalis du jus. Michaëlis recommande[1] de borner cette réaction à la moitié des alcalis, soit de 1^{p},165 à 2^{p},946 de base pour 1000 de jus, ce qui réduit déjà de moitié l'économie cherchée. En second lieu, et c'est là le point principal, les chlorures ont l'inconvénient, comme on le verra plus loin, de n'être pas absorbés par le noir. La filtration ne peut donc les éliminer de la dissolution sucrée, tandis qu'à l'état d'alcalis libres 30 % sont en réalité absorbés par le noir. Ce fait est nettement contraire à l'emploi du chlorure de calcium pour transformer les alcalis en chlorures, et il est difficile de comprendre comment, dans les analyses si nombreuses, dans les recherches si complètes, faites par Michaëlis pour démontrer les avantages de son procédé, l'inventeur a complètement omis la faculté d'absorption par le noir.

---

1) Journ. de l'assoc. des fab. allem. 39e livr. p. 254.

Du reste, dès l'année 1837, Balling recommandait l'emploi du chlorure de calcium comme agent d'épuration dans ses *Nouveautés et Transactions Économiques*, (*Prague*), et ce travail fut reproduit dans mon ouvrage sur la fabrication du sucre en Bohême (1857—58). Michaëlis ne publia ses recherches qu'en 1850. La priorité revient donc sans contredit à Balling, bien que la méthode dont nous nous occupons soit plus généralement connue sous le nom de Michaëlis qui la mit en évidence par ses travaux.

Quant à la pratique de cette méthode, elle est extrèmement simple. On verse le chlorure de calcium dans le jus à déféquer avant d'y ajouter la chaux, on agite vivement et on défèque comme à l'ordinaire. A Buckau, on employait, pour 950 k^{m} de jus, 1^{k},750 de chlorure de calcium et 8^{k},50 à 10^{k} de chaux. Ces quantités représentaient de 1^{p},165 à 2^{p},946 pour 1000 de jus. Toutefois, je crois avoir observé que, lorsqu'on ajoute 2 pour mille ou plus de chlorure, et qu'on cuit à feu nu, le jus est exposé à brûler. Le fabricant doit donc déterminer, dans chaque cas, la dose de chlorure de calcium nécessaire et éviter d'en employer un excès qui rend les écumes trop fluides. Si l'on n'a ajouté que la quantité convenable de chlorure, la défécation se fait très-rapidement en gros flocons, les jus déféqués sont très-clairs et retiennent moins de matières organiques dissoutes que dans le travail ordinaire, attendu que les alcalis libres ne sont plus là pour maintenir en dissolution les principes albumineux. Dans des essais faits en 1858 à Konigsaal, j'ai obtenu en moyenne, sur 1051 k^{m} de jus, 34^{k},41 d'écumes avec le chlorure de calcium, tandis que le poids des résidus s'élevait à 37^{k},28 par la méthode ordinaire.

Du moment où l'on veut employer le chlorure de calcium, il me parait plus avantageux de l'ajouter à la râpe qu'aux chaudières de défécation. Le chlorure de calcium, en effet, agit en décomposant les sels de potasse à acides végétaux; les alcalis passent à l'état de chlorures, les acides organiques se combinent à la chaux en donnant des sels insolubles qui se séparent; aussi, l'addition du chlorure de calcium au jus frais

détermine immédiatement un précipité blanc. On pourrait donc, en ajoutant le chlorure calcique à la ràpe, débarrasser le jus, dans la salle même des presses, et par simple dépôt, de son précipité, de façon à ne livrer aux chaudières à déféquer qu'un jus déjà épuré.

MM. Siemens et Breunlin ont proposé en 1859, pour l'épuration, un autre composé du chlore, le chlorure d'aluminium. Les auteurs de cette méthode avaient opéré d'abord sur les mélasses; les résultats favorables qu'ils obtinrent au point de vue de l'épuration et de la décoloration les amenèrent naturellement à essayer l'emploi du même agent pour l'épuration du jus lui-même.

On sait effectivement que l'alumine fraichement précipitée jouit de la propriété de donner avec certaines matières colorantes des combinaisons insolubles. On pouvait donc parfaitement admettre que le chlorure d'aluminium réunirait à la fois les propriétés décolorantes de l'alumine et les effets neutralisants du chlorure de calcium. Le procédé a été par suite mis en pratique dans ces dernières années dans la fabrique de Wodolka en Bohême. D'après les inventeurs, les phénomènes à la défécation sont les mêmes qu'avec le chlorure de calcium: les écumes se forment en petits flocons et se déposent rapidement au fond des chaudières. Le jus clarifié est alors porté à l'ébullition avec la chaux, ce qui détruit le chlorure d'aluminium qui aurait pu se trouver en excès. L'alumine, en se séparant des liqueurs, entraîne avec elle les matières colorantes, l'acide pectique et les autres corps analogues. Les auteurs du procédé affirment que, à la suite de ces diverses réactions le goût des produits est notablement amélioré (?).

Ainsi que nous l'avons déjà dit à propos du procédé de Michaëlis, l'emploi des chlorures à base d'alumine ou autres a l'inconvénient de donner lieu à la formation de chlorures alcalins qui ne se laissent plus ensuite éliminer. Quant à savoir si l'alumine a par elle-même une action aussi efficace qu'on le prétend, on pourrait au moins en douter, eu égard à la composition des jus de betteraves.

De tous les acides qui, par eux-mêmes ou par leurs sels, paraissent applicables à la fabrication du sucre, l'acide phosphorique, convenablement employé, serait celui qui offrirait les avantages les plus sérieux. Pour l'obtenir sous une forme convenable, on fait digérer du noir en poudre avec de l'acide sulfurique étendu, qui se combine à une partie de la chaux du noir et donne du sulfate de chaux très-peu soluble. Il reste dans la dissolution du phosphate acide de chaux qu'on sépare par simple filtration sur un linge.

Autrefois, le phosphate acide de chaux s'employait pour enlever aux jus défégués leur excès de chaux. Il se formait un phosphate basique insoluble, qui se déposait sous forme de précipités très-volumineux, entraînant une partie des matières colorantes et peut-être aussi quelques autres principes organiques du jus. En tout cas, les jus traités par l'acide phosphorique dans ces conditions étaient plus purs et plus clairs que ceux que donnait la méthode ordinaire.

Aujourd'hui, cet emploi du phosphate acide de chaux se trouve remplacé par celui de l'acide carbonique moins coûteux. Cependant, l'acide phosphorique possède d'autres propriétés précieuses et particulièrement importantes pour la fabrication du sucre; seulement, quand on fait usage de cet agent, il convient de se rappeler qu'il exerce sur le sucre, quand il est en excès, une action nuisible, et il importe dès-lors de ne pas ajouter aux jus de trop fortes doses de phosphate acide de chaux.

La propriété spéciale de l'acide phosphorique est que, de tous les acides, c'est celui qui neutralise le plus complètement l'influence des alcalis libres sur la cristallisation du sucre. Déjà, précédemment, nous avons vu, par un essai en petit, que le phosphate de potasse n'empêche pas le sucre de cristalliser. D'autre part, il importe de remarquer que le goût du sucre obtenu dans ces conditions est très-agréable, tandis qu'une quantité équivalente de potasse caustique ou même de chlorure de potassium dans la dissolution donne aux produits une saveur styptique et désagréable. Ces faits sont très-importants dans la fabrication du sucre, dont la valeur est étroitement liée au

goût. Comme mode d'emploi, le mieux parait être d'ajouter l'acide phosphorique après qu'on a précipité la chaux par l'acide carbonique à la saturation. La dose d'acide phosphorique doit être d'ailleurs suffisante pour neutraliser au moins la majeure partie de la potasse et de la soude.

Il y a déjà nombre d'années que Kuhlmann avait essayé d'amener les alcalis à cet état de composés sans action nuisible, et il avait fait un grand nombre d'expériences dans ce sens. Le corps qui lui donna les meilleurs résultats fut le phosphate d'ammoniaque. 1% de ce sel précipitait immédiatement la chaux restée dans les jus après saturation et déterminait une décoloration remarquable de la liqueur. L'évaporation et la cuite se faisaient sans difficulté, et le goût désagréable de la betterave disparaissait complètement.

Dans la pratique en grand, on ajoutait pour 1200 litres de jus 1 k° de phosphate d'ammoniaque, dès qu'on avait supprimé l'injection d'acide carbonique. Le précipité de phosphate de chaux s'ajoutait à celui du carbonate, de sorte qu'à ce point de vue le travail ne présentait aucune complication nouvelle.

Les résultats obtenus par M. Kuhlmann mériteraient donc, d'après ce qui précède, d'être soumis à une étude nouvelle. On serait, il est vrai, forcé de modifier la dose de phosphate ammoniacal suivant la teneur variable des jus en potasse et en soude, mais il suffirait, pour trouver presque instantanément les proportions convenables, d'un simple essai alcalimétrique.

On pourrait également, en se basant sur l'essai alcalimétrique, ajouter la majeure partie de l'acide phosphorique sous forme de phosphate acide de chaux et laisser le reste des alcalis en liberté ou ne se servir que pour terminer la neutralisation du phosphate d'ammoniaque dont le prix est assez élevé. Les essais pratiques ayant bien démontré l'innocuité des phosphates alcalins au point de vue de la nuance, du goût et de la cristallisation du sucre, il est certain que l'emploi de l'acide phosphorique mérite la plus sérieuse attention.

Toutefois, ce procédé présente un inconvénient: pour amener les alcalis libres à l'état de phosphates, il faut commencer par enlever aux jus la totalité de la chaux; or, il est bon qu'en parcourant les différentes phases du travail les jus conservent toujours une petite quantité de cette base pour rester à l'abri de toute altération, (développement d'acide etc.).

Cette difficulté qu'on n'a pu surmonter jusqu'ici me semble le motif qui a fait échouer toutes les tentatives faites jusqu'à ce jour pour l'emploi de l'acide phosphorique. Ce même fait expliquerait également comment les sous-produits provenant de jus traités par l'acide phosphorique ont souvent tendance à se gâter. Mais ce problême, s'il a été insoluble jusqu'ici, ne saurait le rester dans l'avenir. On trouvera certainement le moyen de rendre possible l'usage de l'acide phosphorique, soit, par exemple, en éliminant d'abord des jus les matières organiques ou les principes similaires, soit en découvrant un autre agent que la chaux pour assurer la conservation des jus. Ce point une fois acquis, on peut garantir le plus grand succès à l'emploi du phosphate d'alumine ajouté après saturation de la chaux par l'acide carbonique.

C'est également sur l'emploi de l'acide phosphorique qu'est fondée la méthode brévetée en Angleterre par M. Colette et que M. Pfeifer a cherché à introduire dans la pratique à Cologne. Dans cette méthode, le jus devait être traité par la quantité ordinaire de chaux (0,3 à 0,4?), puis neutralisé incomplètement (jusqu'à 0,2 d'alcalinité par exemple), par le phosphate acide de chaux. Pour cela, on devait ajouter, par hectolitre de jus, 3 litres d'une solution de phosphate de chaux marquant 4° Baumé, ou une quantité équivalente de dissolution à un autre degré. Toutefois, comme la proportion de sels que renferment les betteraves est très-variable, on devait prendre comme règle de ne pas atteindre la neutralisation complète des alcalis. Si ce point était dépassé, on rendait au jus un peu d'alcalis libres par une addition de lait de chaux. Pfeifer prétend que le phosphate acide de chaux n'exerce aucune action décomposante sur les dissolutions sucrées, (hypothèse inexacte). Des essais

sur une grande échelle furent entrepris avec ce procédé dans une fabrique de sucre de Bohême, mais la quantité d'écumes produite fut si considérable que le travail s'en trouva extrêmement compliqué. Les produits qu'on obtenait sans filtration sur le noir n'étaient pas très-beaux; ils présentaient une coloration foncée, mais cependant avaient très-bon goût.

Ce procédé n'est au fond que celui de Kuhlmann; seulement, et pour des raisons purement économiques, on emploie l'acide carbonique pour éliminer la majeure partie de la chaux.

La précipitation d'une partie en poids de chaux exige: 1ᵖ,168 d'acide phosphorique hydraté (0,85 d'acide anhydre), ou bien 1ᵖ,6 de phosphate d'ammoniaque, on enfin 2ᵖ,1 de phosphate acide de chaux. D'autre part, la soude réclame 1ᵖ,6 d'acide phosphorique hydraté (1,161 d'acide anhydre).

D'après ces chiffres, on peut calculer que du jus de teneur normale en chaux exige, pour être neutralisé, 8 à 9 % des on volume d'une solution de phoshate acide de chaux marquant de 3°,5 à 4° Baumé (Stammer). Toutefois, quand on opère dans ces conditions, il importe de se mettre en garde contre l'excès de sulfate de chaux qui peut rester dans le liquide, car ce sel exercerait sur les jus une influence nuisible. Le phosphate d'ammoniaque bien préparé ne présente pas cet inconvénient: même employé en excès, il ne décompose aucune trace de sucre. Mais, si on porte ensuite la liqueur à l'ébullition, il se dégage de l'ammoniaque, une partie de l'acide phosphorique est mise en liberté et réagit sur le sucre. Il convient donc, quand on fait usage du phosphate d'ammoniaque, de n'en pas ajouter un excès, mais c'est une limite assez difficile à observer dans la pratique, car on n'est averti de la présence d'un excès de sel par aucun caractère sensible à l'œil.

Employé simplement comme moyen d'éliminer la chaux, ainsi qu'on l'a encore proposé récemment, l'acide phosphorique a le double inconvénient d'être trop cher et de donner, par suite des grandes quantités qu'il en faut ajouter aux jus, des précipités volumineux, d'un travail difficile.

Du reste, en se bornant de même à l'élimination de la chaux, on a proposé, outre l'acide phosphorique, toute une série d'autres agents que nous nous bornerons à énumérer rapidement, car ils n'ont aucune valeur pratique, par suite, soit de leur prix élevé, soit même de leur action nuisible. Ces agents ont d'ailleurs perdu toute raison d'être du moment où on a trouvé pour le même traitement l'acide carbonique.

Le brevet de Kruger repose sur l'emploi de la caséine du lait ou de sa dissolution dans de l'ammoniaque. La combinaison insoluble de caséine et de chaux qui prend naissance remonte à la surface du liquide, ce qui rend la manipulation très-facile. D'après Stammer, qui parait avoir expérimenté cette méthode, il faudrait employer une quantité de lait représentant 12 % du volume du jus de défécation. D'après Otto, il est probable que la présence des alcalis libres empêche la séparation complète du caséate de chaux, car il reste toujours de la caséine dans les jus; ceux-ci donnent alors à l'évaporation des mousses abondantes et il est souvent difficile de les amener jusqu'à la preuve de concentration voulue. On voit donc que, ni la pratique, ni la théorie ne confirment les espérances que l'inventeur avait fondées sur l'emploi de la caséine.

Garcia a proposé d'employer le savon pour éliminer la chaux des jus épurés, et Basset consacre à la déscription de ce procédé quelques pages de son *Guide pratique du fabricant de sucre*. D'après Basset, pour que l'opération réussisse, une condition nécessaire est que le jus défèqué soit refroidi jusqu'à 40°; le résultat serait d'autant plus satisfaisant, au point de vue de la beauté des produits et de la facilité de la cuite, que le jus aurait été refroidi davantage. Le temps employé ensuite pour ramener le jus de 40 à 100° serait nécessaire, pour que le savon pût agir convenablement. A partir de ce moment, il faudrait, même pendant l'ébullition, éviter toute agitation des jus pour que les écumes pussent se réunir et remonter à la surface. Ces conditions ne laissent pas que de compliquer dans la pratique le procédé dont il s'agit.

Stahlschmidt a rendu compte de ses essais avec ce procédé: il ajoutait une dissolution de savon au jus préalablement épuré par la chaux. Il se formait immédiatement un savon calcaire insoluble qui se rassemblait à la surface et que l'on recueillait. Le jus de betteraves sur lequel il opérait contenait 0,264 % de chaux; un hectolitre exigeait l'emploi de 2^{k},116 de savon. Comme les acides gras se combinent avec la chaux pour donner un composé insoluble, les alcalis du savon se trouvent naturellement mis en liberté, et les jus se chargent ainsi de matières beaucoup plus nuisibles que celles qu'on élimine; ainsi, dans les essais de Stahlschmidt, les 267 gr. de chaux que contenait un hectolitre de jus se trouvaient remplacés par 297 gr. de soude libre. Cet inconvénient, ainsi que le prix élevé du savon, semblent prouver que cette méthode n'est pas pratique. Il serait plus rationnel d'employer les acides gras seuls, et non à l'état de savons, car ils produiraient le même effet sur la chaux, sans introduire dans les jus d'alcalis libres. L'emploi des acides purs n'offre d'ailleurs aucune difficulté: à une température élevée, le savon calcaire se forme et se sépare très-facilement. Seulement, on doit éviter d'ajouter un excès d'acide par rapport à la teneur en chaux; sans cela, l'acide libre se combine avec les alcalis du jus (potasse et soude), pour donner des savons alcalins qui restent dans les liquides.

Wagner indique que le jus dépouillé de sa chaux par l'acide oléique conserve, comme le sucre qu'on en retire, un goût particulier dû aux acides volatils. Aussi, Otto recommande-t-il à ce point de vue d'employer de préférence de l'acide stéarique, qui ne contient pas d'acides volatils, donne avec la chaux une combinaison plus dure et peut se régénérer plus facilement par l'acide chlorhydrique.

Quoiqu'il en soit, les frais élevés qu'entraîne l'usage de tous ces acides ne permettent pas à l'industrie de fonder beaucoup d'espérances sur eux.

Derosne recommandait l'emploi du sulfate d'alumine qui, en présence de la chaux dans le jus, donne du sulfate de

chaux et de l'alumine qui forme une masse blanche et gélatineuse. — Howard conseillait l'alun, combinaison de sulfate d'alumine et de potasse. Que l'alun et le sulfate d'alumine, (et ce dernier de préférence), possèdent à un haut degré la propriété de clarifier les jus, c'est un fait bien connu, mais la formation du sulfate de chaux dans les jus est une source de sérieuses difficultés. Ce sel, en effet, trouble les jus pendant qu'on les concentre à l'évaporation, donne naissance à des dépots adhérents dans les appareils, et enfin charge le noir de sulfure de calcium.

Mialhe conseille, pour éliminer la chaux après épuration, d'employer l'oxalate d'alumine en dissolution acide. La chaux est précipitée à l'état d'oxalate, l'alumine se précipite en même temps que l'excès du sel lequel passe à l'état insoluble par suite de la disparition de l'acide. Comme le précipité est très-volumineux, il entraîne la presque totalité des matières colorantes. D'après Mialhe, une liqueur sucrée traitée de la sorte ne se colore plus à l'évaporation, même quand elle renferme du sucre modifié (?). Le même auteur prétend en outre qu'un kilogramme d'oxalate d'alumine suffit pour précipiter 530 grammes de chaux anhydre. Quoiqu'il en soit, les propriétés vénéneuses et le prix élevé des oxalates empêchent ce procédé d'être applicable en grand.

Robert et John Osland de Plymouth, effectuent l'épuration avec de l'acétate d'alumine (et une solution de tannin), qu'on ajoute, soit avant, soit mieux après défécation: 2 k^mes d'alumine dissous dans l'acide acétique suffiraient pour 10 k^mes du sucre, c'est-à-dire pour environ un hectolitre de jus.

Claës, à Sembeck, précipite la chaux des jus déféqués avec l'acide pectique. Il trouve cet acide complètement inoffensif pour le sucre et le prépare avec les résidus des betteraves elles-mêmes (pûlpe de presse, etc.). A cet effet, il fait bouillir ces résidus avec 5 % de carbonate de soude; il se forme du pectate de soude en dissolution. On filtre, on presse et on ajoute à la liqueur du chlorure de calcium, qui donne le pectate de chaux sous forme de précipité. En traitant cette matière

par de l'acide chlorhydrique étendu, on sépare l'acide pectique à l'état gélatineux, et il ne reste plus qu'à le purifier par plusieurs lavages successifs à l'eau. Claës ajoute alors de cet acide gélatineux aux jus à épurer, en proportion de la quantité de chaux qu'ils renferment.

[L'acide fluorhydrique proposé par M. Kessler, ne laisse pas que d'être très-séduisant: l'insolubilité du fluorure de calcium permet d'obtenir la neutralisation parfaite des jus par l'élimination complète de la chaux. Malheureusement, jusqu'à ce jour l'acide fluorhydrique n'est pas un produit chimique courant, que l'on puisse se procurer aisément dans le commerce. Pourtant, dans certains cas on pourrait y recourir utilement et s'en servir de concert avec l'acide carbonique.

L'addition de l'acide fluorhydrique au biphosphate de chaux constitue également une manière commode et efficace de produire l'acide phosphorique au sein même des jus sucrés. L'acide phosphorique naissant n'est que plus énergique, tandis que le fluorure de calcium, en se précipitant, produit, par entraînement, une défécation tout à fait comparable à celle du carbonate.

M. Kessler a aussi proposé l'emploi de l'acide hydrofluosilicique qui devait, en même temps que la chaux, précipiter la potasse dans les jus; mais les essais en grand n'ont pas confirmé sa valeur de ce procédé au point de vue de l'application pratique.]

Quel que soit le mérite de tous ces moyens divers, ils n'ont que peu d'importance pour la fabrication du sucre, car la chaux n'est pas dans les jus l'ennemi le plus redoutable, et nous possédons d'ailleurs dèjà, pour l'éliminer, des moyens plus simples: l'acide carbonique et, en dernière instance, le noir.

Les efforts et les recherches devraient plutôt être dirigés vers les moyens d'éliminer immédiatement les alcalis des dissolutions sucrées, au lieu de chercher à les transformer en combinaisons sans action nuisible. La solution de cette question renouvellerait complètement la face de l'industrie sucrière et assurerait son avenir. Si d'ailleurs le problême précédent offre

trop de difficultés, il convient au moins de chercher des moyens simples, d'une action certaine, pour enlever aux jus la totalité de leurs matières organiques, des principes albumineux par exemple et de matières pectiques ou gommeuses. De la sorte, les jus se conserveraient mieux et l'on aurait en outre des masses cuites moins visqueuses, moins gluantes. La solution de ce dernier problême ne me parait pas d'ailleurs impossible: elle réclame seulement une persévérance que justifierait amplement l'importance du sujet.

Chapitre VI.

Procédés d'élimination des matières organiques.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, l'élimination des matières organiques des jus constitue un des problèmes les plus importants de la fabrication, et, dans les pages qui suivent, nous étudierons les moyens qu'on a proposés dans ce but, moyens dont les uns ont déjà été essayés, dont les autres réclament encore de nouvelles expériences.

Le plus ancien procédé proposé pour séparer les matières organiques est sans contredit l'emploi de l'acide sulfurique, qui précipite des jus la majeure partie des principes albumineux. Il suffit pour cela d'un quart % d'acide qu'on laisse en contact avec les liqueurs pendant 12 à 16 heures. C'est en cela que consistait la première méthode de défécation, celle que recommandait déjà Achard. Malheureusement, quand on chauffe ensuite les jus, il ne se produit pas d'écumes solides et compactes, comme dans le travail actuel de défécation. La chaleur seule en effet ne suffit pas pour éliminer les matières albumineuses, attendu que les alcalis, surtout à la température de l'ébullition, agissent sur elles pour les dissoudre. D'autre part, l'acide sulfurique détruit très-facilement le sucre cristallisable et cet inconvénient a fait renoncer à son emploi pour lui substituer la chaux.

[Cependant M. Kessler admet que l'altération du jus provient surtout de l'oxydation des matières qui constituent l'écume, matières qu'il désigne sous le nom de principes écumables. Or les acides paralysent l'action de ces principes écumables et c'est en cela qu'ils exercent sur le sucre une action conservatrice. D'après ce chimiste, les acides conservent le sucre plus qu'ils ne l'altèrent, et un jus acidulé par un agent énergique s'altère moins que s'il était livré à lui-même. La petite proportion de sucre interverti ne saurait entrer en ligne de compte avec de tels avantages.]

La chaux décompose, comme on le sait; les matières organiques azotées, et cette réaction donne naissance, pendant la défécation, à un dégagement d'ammoniaque. Comme d'ailleurs la proportion des matières azotées dans les jus est très-variable, il faut naturellement employer pour la défécation des doses de chaux également variables. Ajoutons qu'il vaut toujours mieux forcer cette dose que la réduire, attendu qu'une grande quantité de cette base agit d'une façon plus énergique et plus complète.

L'addition de chaux à fortes doses a été très-préconisée par Rousseau. Dans le procédé qui porte le nom de ce chimiste, la quantitè de chaux était même telle que le travail des écumes devenait très-difficile, et que les ouvriers se refusaient à traiter des masses aussi volumineuses de résidus fortement caustiques.

[Comme le procédé de Rousseau est encore en usage dans un certain nombre d'usines, nous le décrirons ici avec quelques détails en tenant compte des modifications les plus récentes.

Le jus étant introduit dans les chaudières de défécation, qui sont en général à double fond, on laisse la température monter presque à l'ébullition; on se guide d'ailleurs pour l'appréciation de la température sur les données pratiques suivantes: il faut que l'on ne puisse maintenir la main sur les parois de la chaudière, et que la mousse formée à la surface, quand on l'écarte avec la main, reprenne si vivement sa première position que l'on ne puisse apercevoir le liquide sous-

jacent. Alors seulement, on ajoute la chaux. Le lait de chaux doit peser de 23 à 25°, et l'on en ajoute 3 litres à 3 litres ½ par hectolitre de jus. On brasse bien le liquide en maintenant l'admission de vapeur à moitié ouverte, puis on règle le chauffage de telle sorte qu'en approchant l'oreille du robinet de vapeur on n'entende qu'un très-léger sifflement. La mousse monte insensiblement, et lorsque la quantité de chaux employée est suffisante, il se forme à la surface du liquide une couche irisée qui se plisse finement au moindre souffle. Au bout de 20 à 25 minutes, la mousse devient plus sèche et se craquelle par endroits: il faut alors surveiller attentivement la chaudière, et fermer la vapeur au premier bouillon. Après quelques minutes on peut commencer à soutirer le jus clair, qui doit couler avec une teinte jaune pâle.

Ce jus qui contient un grand excès de chaux est amené dans des chaudières de saturation où il est soumis à l'action de l'acide carbonique provenant d'un four à coke. On arrête la carbonatation au moment où le dépôt calcaire se fait rapidement. On laisse reposer, et l'on décante, car les écumes de carbonatation, au contraire de celles produites à la défécation tendent à se précipiter au fond. Les jus troubles réunis aux écumes de défécation sont amenés dans un bac spécial où ils sont légèrement carbonatés grâce à ce traitement ils passent sans trop de difficulté aux filtres presses, et sans causer une détérioration trop rapide des toiles.]

Le mérite de la défécation de Rousseau se borne essentiellement à ce qu'on est arrivé ainsi à admettre l'emploi d'une proportion de chaux aussi forte que possible (15 à 30 kilog. pour 10 hectolitres de jus), à une température de 85 ou 90° seulement, tandis qu'avant on opérait généralement à 100°. Quant à l'emploi de l'acide carbonique, indispensable pour de pareilles quantités de chaux, le mérite n'en revient pas à Rousseau, car longtemps avant Kuhlmann, Schatten et autres l'avaient maintes fois signalé et en avaient fait l'application pratique. Basset ajoute que Barruel avait, des 1812, proposé le procédé que Rousseau a ressuscité en 1849. Quoiqu'il en soit, Rousseau

a tout au moins rendu ce service d'avoir fait sortir de l'oubli une bonne méthode.

Ces fortes doses de chaux sont difficiles dans la pratique à employer en une seule fois, et Michaëlis avait eu l'idée de les fractionner. Au lieu d'ajouter toute la chaux à la défécation, il conseillait d'en réserver une partie pour l'ajouter au jus défèqué. Dans ces conditions, l'emploi d'une forte proportion de chaux et sa précipitation par l'acide carbonique devaient entraîner et séparer du jus une quantité proportionnelle de matières azotées.[1]

Cette idée ingénieuse et qui devait être si féconde, m'amena, dans la campagne de 1857—58, à entreprendre à ce sujet une série d'essais pratiques dans les fabriques de Bohême, où je rencontrai le concours dévoué et intelligent de plusieurs fabricants. Les résultats favorables de ces essais se trouvent consignés dans mes lettres sur la fabrication en Bohême (Prague, 1858).

C'est surtout pour les jus de mauvaise qualité que la réussite fut surprenante. Ces jus marquaient un quotient de pureté de 78 %, tandis qu'avec la méthode ordinaire de saturation ils n'atteignaient que 76,6 %. "Au point de vue de la nuance, et en prenant comme type les jus déféqués d'après le procédé usuel, ceux qu'on obtint dans les essais, avec 1 % de chaux, accusaient à l'appareil de Greiner une décoloration de 25 %. Dans une autre expérience, où l'on força la dose de chaux, la décoloration atteignit 68,5 %; le troisième essai donna 66 %."

Ces résultats furent, comme nous l'avons dit, imprimés en 1858 et la méthode elle-même fut d'ailleurs mise en pratique à cette époque par plusieurs fabricants, notamment par Mr. Fischer à Calbe.

Dans tout ce qui précède, la chaux était considérée surtout comme agent de précipitation. Dans les premières idées de Maumené, cette base devait surtout agir pour conserver le

---

1) Journal de l'assoc. des fab. allem. 1855. p. 253.

jus et détruire les principes azotés. L'inventeur proposait d'ajouter au jus, immédiatement après son extraction, de 1 ½ à 3 équivalents de chaux par équivalent de sucre. La chaux décompose en effet, même à la température ordinaire, et peu à peu, les matières azotées, ce dont on peut s'assurer au dégagement d'ammoniaque qui se produit.

Maumené est donc le premier qui ait démontré pratiquement cette action de la chaux sur les jus à basse température. Plus on ajoute de chaux (2½ à 5 %), plus on laisse de temps à son action, et plus les jus deviennent purs et clairs.

A la température ordinaire le précipité calcaire ne se dépose naturellement que d'une manière très-lente, et il est très-volumineux. Sous l'action de la chaleur seulement, il devient plus grenu, plus dense, et il se sépare plus vite. Des essais que j'ai faits sur le volume de ces dépôts calcaires m'ont donné les résultats ci-après:

	Avec 4% de chaux		Avec 3% de chaux	
	jus clair.	résidu.	jus clair.	résidu.
après 12 heures . . .	40%	60%	59%	41%
- 24 - . . .	50 -	50 -	73 -	27 -
- 36 - . . .	65 -	35 -	77 -	23 -
- 48 - . . .	70 -	30 -	79 -	21 -

Au bout de ce temps, les jus réchauffés jusqu'à 87 ou 92° au plus et dépouillés par l'acide carbonique de la majeure partie de leur chaux étaient extraordinairement clairs et presque incolores. Dans aucune autre méthode de fabrication, je n'ai obtenu des jus aussi beaux. Au lieu d'opérer sur le jus, on peut d'ailleurs tout aussi bien conserver la pulpe. Il se forme encore là une défécation à froid, et la pression donne immédiatement des jus très-clairs.

La chaux agissant à ces faibles températures sur les matières azotées, il en résulte qu'il n'est pas besoin, pour détruire

ces principes, de recourir à une chaleur aussi élevée qu'on le fait d'habitude dans l'évaporation préparatoire. La réaction se produit tout aussi bien avec les appareils d'évaporation dans le vide, à une basse température, et l'on en a la preuve dans les vapeurs qui se condensent dans la deuxième et la troisième caisses, vapeurs qui sont souvent assez ammoniacales pour attaquer les tuyaux.

Dans des essais entrepris en 1862 à Jablonofka sur la séparation des matières organiques azotées dans des jus de mauvaise qualité, j'ai trouvé pour les quantités éliminées, les chiffres suivants:

	Sur 100 de matières azotées.
par la défécation et la saturation . .	de 7,7 à 13 parties
par la première filtration	de 15 à 18 -
par l'évaporation et la 2e filtration .	de 26 à 43 -
	Total de 48,7 à 75 parties.

Ces résultats prouvent tout au moins que l'évaporation dans le vide joue un rôle important pour l'élimination des matières azotées, puisqu'elle en sépare de 11 à 25 %, c'est-à-dire plus que la défécation proprement dite.

Dans l'évaporation préparatoire, qu'on a tant prônée, on donne souvent comme règle d'arrêter l'opération lorsque le dégagement d'ammoniaque a, sinon cessé, du moins notablement diminué. Or, la formation de l'ammoniaque persiste même pendant qu'on pousse la concentration jusqu'à 24° Baumé, et elle ne cesse même pas à la cuite, surtout lorsque l'on opère sur des jus de mauvaise qualité. Bien plus, les sirops verts, et même les mélasses, contiennent toujours des matières azotées que la cuite poussée jusqu'à la cristallisation n'a pu détruire. L'évaporation préparatoire n'a donc pas les avantages qu'on lui prête. J'en trouverais encore la preuve dans d'autres expériences sur l'évaporation préparatoire jusqu'à 10 et 15° Baumé, et dans lesquelles je faisais usage de dissolutions de tannin et de permanganate de potasse extrêmement sensibles. Malgré tous mes efforts, je n'ai pu constater aucun des effets considérables qu'on attribue à l'évaporation préparatoire. Lorsque

l'on concentre les jus dans ces conditions, la proportion des matières organiques qu'enlève la chaux est extrêmement faible ou du moins ne dépasse pas celle qu'on séparerait par la saturation immédiate de la chaux et une simple filtration sur du bon noir ainsi que l'avait déjà proposé Michaëlis. Ce dernier procédé plus simple et plus économique conduit donc tout aussi sûrement au but que l'on se propose.

Peut-être pourrait-on, toujours en vue d'éliminer les matières azotées, neutraliser, immédiatement après la carbonatation, le reste de la chaux et une partie des alcalis par l'acide phosphorique ou tout autre réactif analogue, de façon à précipiter les matières albumineuses que ces bases maintiennent en dissolution. Une fois la liqueur claire décantée, on y ajouterait une nouvelle proportion de chaux destinée à agir sur les matières protéiques plus difficiles à séparer. Ce procédé pourrait, dans beaucoup de cas, offrir certains avantages, attendu qu'il est inutile de conserver jusqu'à l'évaporation préparatoire celles des matières azotées qu'une simple saturation peut éliminer. Une seconde carbonatation précipiterait encore la chaux nouvelle avec le reste des matières azotées, et on continuerait le travail comme d'habitude. Du reste, quelle que soit la valeur de cette idée, je suis persuadé que, dans l'avenir, on trouvera d'autres réactifs d'une action plus certaine et plus complète pour séparer les matières azotées.

Un de ces réactifs serait peut-être le tannin, principe astringent très-répandu dans la nature et que fournissent beaucoup de substances.

Cette idée de précipiter les matières azotées des jus par le tannin se présente tout naturellement à l'esprit, car le tannin est précisément le réactif le plus sensible pour déceler leur présence: quelques gouttes de sa dissolution donnent un précipité, d'habitude très-coloré, très-volumineux, et le jus reste beaucoup plus clair.

En ajoutant le tannin aux jus déjà défégués et saturés, il serait peut-être possible de précipiter et de séparer la totalité ou tout au moins la plus grande partie des matières azotées.

Il est vrai que le contact du tannin avec le fer (dans les bacs ou les filtres), aurait l'inconvénient de donner aux jus une coloration noirâtre assez forte, mais il resterait à examiner si une addition ultérieure de chaux, ou même l'emploi seul du noir, ne pourrait pas faire disparaitre entièrement cette nuance. Il ne semble pas qu'on ait fait d'expériences dans ce sens, car on ne signale dans aucun ouvrage de fabrication, ni ces inconvénients, ni les moyens d'y remédier.

Une condition essentielle de l'emploi du tannin serait que cette matière fût pure, pour qu'elle ne vînt pas colorer le jus ou lui ajouter de combinaisons étrangères. Le tannin pur est presque blanc, sans odeur, d'une saveur très-astringente; il colore en rouge la teinture bleue de tournesol, et décompose les carbonates avec dégagement de gaz. Il est précipité de sa dissolution concentrée dans l'eau par les acides chlorhydrique, azotique et phosphorique. La plupart des acides (et les ferments) donnent naissance avec le tannin à l'acide gallique, les alcalis à l'acide tannoxylique, qui forme avec la chaux et les sels de plomb des combinaisons rouges.

Cette facile décomposition de la solution aqueuse de tannin exige qu'on emploie cette solution fraichement préparée et que l'on conserve le tannin à l'état sec.

Les principes tanniques peuvent donner suivant leur nature, sous l'action de la chaleur, des ferments, etc., des acides différents, mais tous ont comme caractère commun une grande affinité pour les matières azotées.

Les différents végétaux contiennent des quantités variables de tannin. Ainsi:

L'écorce de chêne jeune en contient de	16 à 21 %
l'écorce de chêne vieux en contient de	14 %
l'écorce de chêne de cent ans en contient de . .	8,5 %
l'écorce de bouleau	5,7 %
la noix de galle (dont je me suis servi)	40 à 70 %
le cachou	44 à 75 %
la racine de tormentille	46 %.

Osland, de Plymouth, conseillait de faire digérer la valonia rustique pulvérisée dans vingt fois son poids d'eau et d'employer la liqueur claire qui en résultait.

Le tannin ajouté, même en forte proportion (2 %), à une dissolution de sucre pur, n'empêche pas sa cristallisation d'une manière sensible; du moins, il ne donne pas lieu à la formation de mélasse. Seulement, le sucre prend une teinte grise, un goût âpre et astringent, et il ne se sépare plus qu'en petits cristaux. Du reste, si on avait employé un excès de tannin, il serait facile de s'en débarrasser en le précipitant par une légère addition de chaux, et même par le noir, selon toute apparence. Le tannin est naturellement trop cher pour qu'on puisse l'employer à éliminer la chaux des jus de betteraves, et son usage devrait nécessairement être borné à la séparation des matières azotées.

On a également proposé, pour agir sur les substances organiques, l'acide sulfureux ou sa combinaison avec la chaux. Proust l'avait déjà recommandé pour épurer le moût de raisin, Melsens et Drapiez l'ont appliqué à la fabrication du sucre.

Le procédé de Melsens consiste à ajouter, soit à la râpe sur la betterave, soit dans les jus, 2 à 4 % d'une dissolution de bisulfite de chaux marquant environ 10° Baumé, ou, d'après Basset, 8 litres par 1000 k^mes de betteraves. Cette addition empêche la pulpe de se colorer à l'air; elle conserve sa teinte blanche primitive une heure et plus, et c'est un résultat qui frappe beaucoup, de prime abord, les fabricants habitués à voir la pulpe se colorer et noircir presque instantanément. Ces faits prouvent donc que le bisulfite de chaux possède la propriété de préserver contre l'oxydation les matières que renferme le jus et d'empêcher les altération dues à la présence des principes azotés.

Toutefois, dans des essais sur une grande échelle que j'ai entrepris pour étudier cette méthode, les résultats en fabrication courante furent loin d'être très-favorables. La défécation se faisait bien, car le sulfite de chaux tend à faciliter la coagulation des matières albumineuses, mais les sirops qui n'avaient

pas filtré sur le noir se cuisaient mal. Ils donnaient des masses cuites de teinte grisâtre, d'un rendement en sucre très-faible. D'autre part, le sucre brut obtenu de cette façon contracte souvent une odeur désagréable qu'il ne perd qu'après une longue exposition à l'air. D'après Melsens, cette odeur disparait si on laisse le sucre dans une atmosphère ammoniacale ou par le terrage, opération qui réduit de 10 % le rendement. D'après les Comptes-Rendus de l'Académie pour 1862, et à la suite de nouveaux essais, l'acide sulfureux serait également employé souvent pour le travail du sucre de cannes.

Il est du reste assez intéressant de voir le nombre des brevets pris pour l'emploi de l'acide sulfureux ou des sulfites de chaux. Après que Proust eut recommandé, en 1810, l'épuration du jus par l'acide sulfureux, que Drapiez en eut fait l'objet d'une communication en 1811, que Perpère, en 1812, eut échoué dans son emploi, Dubrunfaut prit un brevet pour le même objet en 1829. E. Stolle chercha, en 1838, à obtenir un privilège pour l'emploi du bisulfite de chaux; Boutin proposa en 1846 le sulfite d'alumine, et enfin, en 1849, Melsens, reprenant la question, obtint un nouveau brevet, qui devait donner des résultats magnifiques, et fit accourir les industriels de tous les pays au laboratoire de l'inventeur.

D'après Musspratt, l'emploi du sulfite neutre de chaux est souvent plus économique que celui du bisulfite.

Le sulfite neutre est composé de

1 équivalent de chaux	35,9
1 équivalent d'acide sulfureux	41,0
2 équivalents d'eau	23,1
	100,0

Dans ces dernières années, Seyferth a proposé d'employer l'acide sulfureux dans l'appareil à cuire. De la sorte, le sucre aurait parcouru les diverses phases de la fabrication en restant plus ou moins alcalin, avant de se trouver en contact avec l'acide, et d'autre part, on n'aurait plus à craindre l'action de l'acide sulfureux sur le noir. Enfin la température élevée de l'ap-

pareil à cuire devait évaporer rapidement l'excès d'acide et prévenir ainsi jusqu'à un certain point le danger d'un dosage exagéré.

Fig. 123.

L'acide sulfureux, comme on le sait, est un gaz incolore, produit par la combustion du soufre dans l'air. L'eau l'absorbe dans des conditions parfaitement connues, de sorte qu'il est facile de préparer des solutions aqueuses de ce gaz au degré

de concentration que l'on désire. — L'acide sulfureux se combine aux alcalis du jus pour donner des sulfites (et en partie des sulfates), mais cette action ne parait se produire avec le procédé de Seyferth que dans d'étroites limites. D'autre part on obtient une décoloration très-grande de la masse cuite.

Le four dont on se sert et qui, d'après le Dr. Wackenroder est le plus avantageux, est représenté fig. 123. Le soufre est introduit dans une capsule *b* qu'on dispose dans le four *a*. La porte *c* sert à régler l'accès d'air. Les vapeurs produites abandonnent dans la chambre *d* les matières qu'elles ont pu entrainer. Le gaz passe ensuite dans le réfrigerant *e* alimenté par le tuyau d'eau *f*, puis dans un réservoir *g* rempli de coke et sur lequel tombe un courant d'eau. La solution aqueuse ainsi obtenue se filtre en *i* et se rend dans un réservoir *k* dont la contenance est de 6 à 10 hectolitres pour un travail journalier de 100,000 k^{mos}; le liquide se rend ensuite par le tuyau *l* dans l'appareil. Pour apprécier la teneur du liquide en acide sulfureux dissous on peut employer les méthodes de titrage connues ou plus simplement faire usage de l'aréomètre.

Le Dr. Wackenroder a dressé à cet effet la table suivante:

Degré aréométrique Brix.	Degré Baumé.	Densité.	Taux % d'acide sulfureux.
0,100	0,056	1,0004	0,107
0,200	0,112	1,0008	0,214
0,300	0,168	1,0012	0,321
0,400	0,224	1,0016	0,428
0,500	0,280	1,0020	0,535
0,600	0,336	1,0024	0,642
0,700	0,392	1,0028	0,695
0,800	0,448	1,0032	0,748
0,900	0,504	1,0036	0,801
1,000	0,560	1,0040	0,854
1,500	0,835	1,0060	1,168
2,000	1,110	1,0080	1,688
2,500	1,390	1,0100	2,180
3,000	1,670	1,0120	2,655
3,500	1,950	1,0140	3,211
4,000	2,230	1,0160	3,821

Le fabricant n'a donc qu'à peser le liquide avec un aréomètre indiquant les 10es de degré. Il introduit une quantité déterminée de le solution en même temps que les sirops dans l'appareil à cuire et il conduit la cuite comme d'habitude. Après quelques tâtonnements, on arrive bien vite à trouver la dose d'acide la plus convenable. Seyferth conseille d'ajouter l'acide jusqu'au moment où le papier rouge de tournesol passe au bleu. Pour les premiers produits la dose d'acide convenable serait de 10 à 15 % du poids de la masse cuite. Pour les sous-produits, on devrait se régler sur l'alcalinité (?) enfin, dans les cuites de raffinage, on réduirait la dose à 4 ou 8 % du poids de la masse cuite. Le contact prolongé de l'acide avec le jus parait ne produire aucun effet spécial.

On a également essayé d'introduire l'acide sous forme de gaz dans l'intérieur de la masse en ébullition. D'après Seyferth on devrait prolonger l'injection de gaz tant que la masse cuite accuserait une réaction alcaline. — Il ne faut pas oublier que dans ces conditions, une grande partie du soufre brûle sans être utilisée et que d'autre part, le contrôle des dosages est bien plus difficile. L'emploi des solutions aqueuses me parait donc de tous points préférable.

Emile Rousseau proposait d'ajouter au jus du peroxyde de fer hydraté, à une température inférieure à 100°, après avoir au préalable défèqué le jus par du plâtre. Dans ces conditions, le jus se trouverait décoloré et à peu près complètement dépouillé des matières étrangères, ce qui dispenserait de l'emploi du noir.

La quantité de peroxyde de fer hydraté, en suspension dans 70 ou 80 % d'eau, à employer, serait, d'après Rousseau, de 8 à 10 % du jus.

Le sulfate de chaux avait déjà été indiqué en 1817 et 1837 par Lohmann et par Balling. D'après Grouven,[1] la défécation par le plâtre enlèverait aux jus plus de matières organiques que le traitement ordinaire par la chaux. Toutefois,

1) Journal de l'assoc. des fab. allem. T. XI, p. 328.

la formation des sulfates alcalins présente un inconvénient sérieux au point de vue du rendement en sucre, car ces sels s'opposent d'une manière très-nette à la cristallisation. A cette difficulté il faut ajouter que le sulfate de chaux est légèrement soluble (3 p. pour 1000 d'eau); les jus retiendraient donc par hectolitre 300 grammes de sulfate de chaux qui trouble ensuite le jus à la concentration et donne aux produits un goût désagréable, à moins qu'on ne l'élimine par quelque autre substance. Rousseau, il est vrai, attribue à l'oxyde de fer la propriété de précipiter de ses dissolutions le sulfate de chaux, mais cette réaction a été contestée par Barreswill et par Weiler.[1]

D'autre part, les fabricants redoutaient l'action nuisible du plâtre sur le noir, aussi cette méthode ne trouva d'applications pas plus à l'origine qu'à l'époque plus rapprochée où on a cherché à la prôner de nouveau.

Quoiqu'il en soit, le peroxyde de fer hydraté agit incontestablement pour clarifier et décolorer les jus de betteraves. On l'avait déjà employé mélangé avec le charbon de bois, comme matière filtrante pour la décoloration des sirops, mais cette décoloration est loin d'atteindre l'effet que produit le noir animal de bonne qualité. L'espérance conçue alors de supprimer en fabrication l'emploi du charbon d'os ne pouvait d'ailleurs reposer que sur une fausse appréciation des effets de cet agent. On ne tenait compte que de son pouvoir décoloront, tandis que son action principale consiste dans l'élimination des autres matières organiques et de différents sels. Enfin, le procédé que nous venons d'indiquer a l'inconvénient de donner des résidus très-volumineux, qui retiennent mécaniquement beaucoup de sucre et réduisent d'autant le rendement définitif.

Toutes les méthodes que nous avons indiquées jusqu'ici avaient pour but de séparer du sucre aussi complètement que possible les éléments étrangers d'origine organique ou minérale. Le procédé de MM. Dubrunfaut et E. de Massy cherche à résoudre le problême inverse, à séparer et précipiter le sucre

---

1) Journal de l'assoc. des fab. allem. T. XI, p. 328.

du jus où il se trouve en dissolution. On utilise à cet effet la propriété que possède la baryte de donner avec le sucre, à la température de l'ébullition, une combinaison très-peu soluble, le sucrate de baryte, dans lequel le sucre joue par rapport à la baryte le rôle d'acide. Cette combinaison peut être soumise au lavage et débarrassée ainsi de la totalité des matières étrangères. On sépare de la sorte, sous forme de composé presque insoluble, 97 % du sucre que renferment les jus ou les mélasses (auxquelles le procédé devait s'appliquer au début). Les 3 % de sucre qui restent passent à l'état de sucrate de baryte dissous et échappent au traitement. Dans la pratique, après avoir opéré la défécation par la chaux, on ajoute une quantité de baryte représentant de 50 à 60 % du poids du sucre. En agitant vivement, on obtient un mélange intime, et la liqueur portée à l'ébullition laisse déposer au bout de quelques minutes le sucrate de baryte. On décante le liquide qui reste et qui contient les diverses substances étrangères, puis on sèche autant que possible le précipité à l'aide de turbines ou de tout autre moyen analogue. Dans cet état, la masse solide obtenue est formée d'environ 50 % de sucre, 22 % de baryte et 28 % d'eau. D'après Basset, 30^{p},948 de baryte donneraient, avec 69,052 de sucre 100,0 de sucrate desséché. La décomposition du sucrate de baryte s'effectue ensuite par l'acide carbonique ou par l'acide sulfurique très-étendu. On agite vivement la masse, de façon que le sucre mis en liberté ne puisse être attaqué par les dernières portions d'acide, et on prolonge l'opération jusqu'à ce que toute la baryte soit transformée en carbonate ou en sulfate. La dissolution sucrée est isolée par la pression ou tout autre moyen, additionnée d'un peu de chaux et envoyée immédiatement à l'évaporation et à la cuite.

L'absorption des sels de baryte solubles pouvant déterminer des nausées et des vomissements, il importe, dans cette méthode, de veiller avec le plus grand soin à ce que tout le sucrate de baryte soit décomposé, aussi a-t-on recommandé, quand on emploie l'acide carbonique, d'ajouter à la fin un peu d'acide

sulfurique étendu de façon à avoir une dissolution faiblement acide et à être sur que toute la baryte est précipitée. Malgré ces précautions, les propriétés vénéneuses de la baryte ont empêché la méthode dont nous nous occupons de se généraliser.

A maintes reprises, on a proposé une autre méthode de travail fondée sur l'emploi de l'alcool pour épuiser, soit les betteraves fraiches, soit les cossettes desséchées. Lorsqu'en 1857, Pelouze démontra[1] que tout le sucre contenu dans la betterave était du sucre de cannes cristallisable, il coupait les betteraves en franches très-minces et les traitait à la température de 25° par de l'alcool d'une densité de 0,834. Pour neutraliser les acides libres de la betterave, il ajoutait au liquide quelques gouttes d'une solution très-étendue de potasse caustique. Au bout de 36 heures, l'extrait alcoolique n'était que très-peu coloré. Son évaporation à température douce laissait un résidu presque blanc qu'on desséchait au bain de suble et qu'on reprenait par l'alcool absolu. Ce dernier liquide, ne dissolvant pas trace de sucre, séparait la plupart des matières étrangères, (notamment un principe gras sans saveur), et le sucre restait absolument pur.

Dans son ouvrage sur la fabrication du sucre de betteraves (Halle, 1836), Bley décrit ainsi qu'il suit le procédé simple qu'il avait imaginé pour le dosage direct du sucre:

On prend une partie de betteraves réduites en pulpe très-fine, et on l'épuise par 2 parties d'alcool à 90%. On exprime soigneusement le liquide qu'on filtre à plusieurs reprises sur du papier non collé et on évapore l'extrait alcoolique ainsi obtenu, soit au bain-marie, soit au bain de sable. De cette façon, l'auteur a pu obtenir, avec des betteraves de Silésie bien venues, blanches, d'une peau légèrement rosée, 12,5% de sucre cristallisé assez blanc. Le poids du sucre fut déterminé après une dessiccation prolongée entre des feuilles de papier brouillard, et alors seulement que le poids restait invariable.

---

1) Annales de Physique et de Chimie, T. XLVII, p. 411.

Cette méthode avait été bornée jusqu'ici aux travaux de laboratoire ou aux analyses de richesse saccharine des betteraves. Dans ces derniers temps, on a cherché, en France, à l'appliquer au travail en grand. Mais le prix de revient élevé et les impossibilités pratiques du procédé sautent aux yeux. D'après les indications de Bley, il faut compter 2 parties d'alcool pour une de betteraves. Il faudrait donc, pour un travail journalier de 50,000 k^{os} de betteraves opérer sur 100,000 k^{os} d'alcool. Cet alcool peut être regagné en partie par la distillation, mais, outre les frais de cette opération, il faut bien faire entrer en ligne de compte les pertes inévitables de cet alcool. Les dépenses, dans ce système de travail, seraient donc considérables, et une commission instituée pour l'étude des betteraves, tout en reconnaissant que le procédé de Bley "ne donne prise à aucune objection au point de vue de l'exactitude et de la simplicité," a conclu qu'il n'etait applicable qu'aux analyses, "à cause de la grande quantité d'alcool qu'il exige."[1] Si l'on voulait employer de l'alcool très-concentré, ou même absolu, (ce qui est impossible dans la pratique), cet agent, par le fait même de son action sur les betteraves, se chargerait d'une partie de leur eau. Il ne pourrait donc plus agir comme de l'alcool pur, mais tout au plus comme une dissolution très-étendue à une richesse de 30 %, par exemple. A cet état de dilution, l'alcool n'aurait d'autre effet que de prévenir la fermentation et peut-être de coaguler une matière gommeuse (pectique?) que renferment les jus. Par contre, il dissoudrait plus de matières grasses que l'eau, (voir le procédé de Pelouze); en même temps, les alcalis, très-solubles dans l'eau et qui ne sont pas précipités par l'alcool, passeraient dans les liquides alcooliques. Ces derniers n'auraient donc pas une pureté plus grande, (au moins au point de vue de sels), qu'un extrait opéré avec de l'eau seulement.

Nous arrivons maintenant à l'emploi de l'alcool pour le traitement des betteraves desséchées, procédé qui a donné lieu,

---

1) Journal de l'assoc. des fab. allem. T. III, p. 21.

il y a quelques années, à tant d'espérances fondées sur les assertions de Schutzenbach. L'inventeur prétendait en effet obtenir le sucre à un prix de revient moitié moindre qu'avant.

L'idée de séparer le sucre des betteraves desséchées par l'alcool est loin d'être nouvelle. Elle date de 1817, époque où Marggraf employait ce procédé pour des recherches analytiques. C'est donc, à proprement parler, le procédé le plus ancien qui ait été employé pour la séparation du sucre et il remonte au fondateur même de l'industrie.

Les essais de Marggraf furent confirmés par les travaux de Péligot (1839). Ce chimiste, admettant qu'une dessiccation soigneuse des tranches de betteraves ne faisait subir au sucre aucune modification, opérait cette dessiccation des racines dans un bain-marie, les réduisait en poudre grossière et les traitait par de l'alcool à la densité de 0,831. On prolongeait l'épuisement par l'alcool jusqu'au moment où une goutte de liquide évaporée ne laissait plus trace de résidu solide. De cette façon, on était sur d'avoir enlevé la totalité ou la presque totalité du sucre. La masse ainsi obtenue après dessiccation était ensuite dépouillée des sels, de la graisse, etc., par un traitement à l'alcool absolu.

Ce fut ce procédé que la commission d'enquête sur les betteraves choisit pour déterminer les richesses saccharines. Comme Schutzenbach parait s'être appuyé principalement sur les travaux de cette commission, nous reproduirons ici un exposé abrégé du procédé suivi:

"On place dans un flacon de petite dimension 20 à 30 gr. de cossettes de betteraves desséchées, et on les traite à froid par de l'alcool à la densité de 0,830 auquel on a ajouté une ou deux gouttes d'une dissolution extrêmement étendue de potasse caustique, en vue de neutraliser les acides libres. La betterave réduite en poudre reste deux jours en contact avec l'alcool. Au bout de ce temps, on décante le liquide et on le remplace par de l'alcool frais qui reste 12 heures sur les racines. Cette opération est répétée 5 ou 6 fois, ou aussi longtemps que l'alcool enlève encore quelque chose de la matière analysée. Les

liquides alcooliques ainsi obtenus sont réunis, filtrés et évaporés à siccité à basse température. Le résidu est enfin lavé à l'alcool absolu qui ne dissout pas le sucre, mais enlève entièrement la graisse, les matières colorantes et les sels."

Malgré ces précautions, tous les chimistes n'obtinrent pas avec cette méthode des résultats satisfaisants. Ainsi Braconnot, en desséchant les betteraves et les traitant à plusieurs reprises par l'alcool bouillant n'obtint qu'une dissolution colorée, laquelle par l'évaporation donna, outre du sucre, une matière visqueuse, cristallisable, un peu moins soluble dans l'alcool que le sucre lui-même, mais que l'on ne put parvenir à éliminer d'une manière complète.

La commission avait déjà reconnu ces difficultés. Dans son travail cité plus haut, nous trouvons que "les betteraves provenant de sols trop fumés ou récemment défrichés se dessèchent très-difficilement au bain-marie et peuvent éprouver une altération notable qui donne aux cossettes comme au résidu de la dessiccation de l'extrait alcoolique une coloration très-forte. En même temps, l'alcool en s'évaporant laisse déposer une grande quantité d'une matière visqueuse."

"Dans tous les cas où nous avons observé de pareils résultats, nous n'avons pu trouver comme cause de l'altération que la dessiccation des betteraves, lorsque la chaleur était trop forte, ou le traitement ultérieur par l'alcool bouillant."

Ces divers travaux prouvent invinciblement: 1°, que l'alcool absolu ne dissout pas de sucre, 2°, que la masse saccharine obtenue par évaporation de l'extrait alcoolique n'est pas du sucre pur, qu'elle doit être traitéé à nouveau par l'alcool absolu pour perdre les matières colorantes et les sels, 3°, que l'épuisement exige un temps assez long, 4° enfin, que la dessiccation des cossettes non seulement exerce une influence marquée sur la beauté des produits, mais quelle est fréquemment accompagnée de grandes difficultés.

Schutzenbach, dans ses mémoires à l'association des fabricants allemands fait au procédé habituel d'extraction du jus l'objection suivante:

"Le défaut capital commun à toutes les anciennes méthodes est qu'une grande partie des matières azotées, visqueuses, des betteraves sont extraites en même temps que le sucre et avec lui. Cela tient à ce que les moyens dont on disposait jusqu'ici ne suffisent pas pour enlever au jus la totalité de ces principes nuisibles et prévenir ainsi la formation de la mélasse." Il ajoute plus loin que, dans sa méthode, les principes qui pourraient nuire à la formation des cristaux restent *en totalité* dans les résidus épuisés, qu'il ne peut pas dès-lors se former de mélasse, l'élimination des matières précitées étant complète.

Ces assertions sont contredites par les recherches de MM. Grouven et Scheibler. Le premier de ces chimistes trouva "que l'alcool, à quelque degré qu'il soit, n'extrait pas le sucre pur, mais du sucre mélangé d'albumine et de sels, comme celui que donnerait l'extraction par l'eau." Une analyse faite par Scheibler de la dissolution sucrée obtenue par la méthode de Schutzenbach donna les chiffres suivants:

Eau	50,29 %
Sucre cristallisable	48,75 -
Matières organiques précipitables par l'acétate de plomb	0,16 -
Cendres	0,62 -
Total . . .	99,85 %

La quantité de 0,16 % des matières organiques précipitables par l'acétate de plomb est loin d'être insignifiante, car elle est, sinon plus forte, du moins aussi élevée que la proportion qu'en renferment des sirops de même concentration obtenus par l'ancien procédé.

En ce qui concerne la teneur en cendres, les analyses relatives à l'action du noir indiquent, comme nous le verrons, que des jus contenant 14 % de sucre accusaient après la première filtration 0,23 % de cendres. Ce chiffre correspondrait, pour 48,88 % de sucre à 0,8 % de cendres. Comme ces jus contiennent encore de la chaux, il ne me semble pas que la différence 0,8 à 0,62 soit un argument si favorable au procédé de Schutzenbach, surtout si l'on tient compte de ce que ce

dernier emploie aussi le noir et que l'échantillon de jus analysé était peut-être uniquement le résultat de la première heure de travail d'un filtre.

Stammer donne, pour la teneur en sels des sirops ordinaires, 1,26 %; L. Krieg trouva de même, en Décembre 1859, pour des betteraves très-mauvaises et une filtration très-faible, une proportion de cendres de 1,4 % dans des sirops qui contenaient encore environ 0,1 % de chaux. Il ne resterait donc que 1,3 % de cendres pour représenter les alcalis. Par contre, les essais de Schutzenbach ont porté sur des betteraves incontestablement bonnes, comme toutes celles que fournit la culture à Stassfurth. Or, un procédé n'affirme sa valeur que s'il permet de travailler mieux et plus sûrement qu'avec les anciennes méthodes des betteraves de mauvaise qualité. C'est ce qui n'est point encore prouvé pour le procédé de Schutzenbach. L'emploi d'une plus forte proportion de noir de bonne qualité suffirait pour réduire notablement le teneur en cendres des jus, et c'est seulement par une expérience prolongée en divers endroits qu'on peut juger quel est le procédé de fabrication qui laisse le moins d'alcalis aux masses cuites. Peut-être enfin Schutzenbach emploie-t-il d'autres modes de travail qu'il n'a pas encore fait connaître.

Mais, admettons même que le procédé de Schutzenbach donne des jus d'une pureté exceptionnelle: il sera toujours difficile de dépasser un rendement en sucre de 90 % de la masse cuite solide. Du moins, dans la pratique, avec 100 parties de sucre brut desséché d'une richesse saccharine de 97 %, je ne suis jamais parvenu à obtenir plus de 90 % de raffiné. Actuellement, notre rendement est de 70 de sucre pour 100 de masse cuite. La différence serait donc de 90—70 ou 20 % de sucre en plus, et c'est ce chiffre qui exprimerait l'économie due au procédé si les frais de fabrication restaient les mêmes qu'autrefois. Or, examinons la question sous ses diverses faces:

Tout d'abord, une circonstance me parait de nature à éveiller quelque méfiance. Schutzenbach, après avoir obtenu un sirop "irréprochable" à 28 ou 30° Baumé, recommande l'emploi du

noir dans la proportion "qu'on admet généralement en raffinerie pour le travail du bon sucre brut." Les bonnes raffineries emploient environ, comme noir, de 60 à 100 % du poids du sucre à travailler. Les fabricants de sucre en emploient 20 % du poids des betteraves, et comme, au moins d'après Schutzenbach, ils doivent retirer 10 de sucre pour 100 de betteraves, la proportion indiquée par l'inventeur correspondrait à 6 ou 10 de noir pour 100 de betteraves, soit la moitié de ce qu'on emploie actuellement.

Or, si la méthode de Schutzenbach fournit des jus parfaitement débarrassés de matières visqueuses et salines, pourquoi donc introduire encore une filtration qui augmente les frais, fait perdre une partie du sucre, etc.? Ne serait-ce pas un aveu implicite de l'impureté des jus?

L'extraction par l'alcool du sucre des betteraves desséchées ne peut pas être beaucoup plus complète qu'elle ne l'est avec les méthodes connues qui donnent, avec des betteraves fraiches ou séchées, de 90 à 92 % de jus. 95 % est le rendement maximum ou théorique, et c'est un chiffre qu'on ne saurait atteindre dans la pratique, toutes les opérations entraînant forcément une petite perte. Ce n'est pas d'ailleurs l'emploi de l'alcool qui pourrait modifier le résultat, car l'alcool absolu ne dissout pas le sucre; ce corps n'agit qu'autant qu'il est mélangé d'eau. Ainsi, Grouven a constaté que, pour un épuisement complet, il fallait 2 jours avec l'alcool à 70 %, 3 avec l'alcool à 80 %, 14 avec l'alcool à 95 %. Dans la pratique, on peut bien, par des épuisements méthodiques, réduire la durée du travail et la quantité d'alcool, mais il reste toujours ce fait incontestable, que l'alcool dissout d'autant plus de sucre qu'il est plus étendu d'eau.

Dans la méthode que nous étudions, la perte d'alcool est loin d'être insignifiante. On admet qu'elle représente 5 % du poids du sucre, soit, pour 50,000 k^es^ de betteraves mises en œuvre et 5000 k^es^ de sucre, 250 k^es^ d'alcool. Cette perte représente déjà, au minimum, 150 francs par jour, soit 0^f^,30 par 100 k^mes^ de betteraves fraiches. Encore, admettons-nous qu'on

pourra retirer des résidus tout l'alcool, ce qui, dans la pratique, offrira des difficultés très-grandes, sinon insurmontables, eu égard à la nature des résidus de betteraves desséchées.

L'une des plus grandes difficultés de toute la méthode est d'ailleurs d'effectuer la dessiccation de la betterave sans altérer le sucre qu'elle renferme. Déjà, les méthodes actuelles de production du jus, ont bien, il est vrai, l'inconvénient de faire passer dans les liquides les matières azotées du végétal, et ces matières, au contact de l'air, sont exposées à fermenter plus ou moins vite, en déterminant l'altération d'une partie du sucre. Mais le même inconvénient existe quand on divise les betteraves en cossettes pour la dessiccation. Les betteraves sont en effet coupées en prismes à l'aide des machines dont nous avons donné la description, dans notre premier volume. Ces morceaux sont ensuite portés aux tourailles de dessiccation dont nous parlerons plus loin. Ainsi divisées, les betteraves offrent une grande surface à l'air et restent exposées à son action nuisible, au moins jusqu'au moment où elles ont perdu la plus grande partie de leur eau, ce qui, même dans les cas les plus favorables, exige plus d'une heure. La production du jus par le râpage des betteraves fraiches ne prend pas plus de temps, de sorte qu'à ce point de vue les deux méthodes sont à peu-près équivalentes.

Toutefois, il serait peut-être plus facile de se mettre à l'abri de cette difficulté dans le travail par dessiccation. Si, en effet, la méthode dont il s'agit dispensait de l'emploi du noir, on pourrait humecter les cossettes avec une dissolution faible de sulfite de chaux qui les protégerait contre l'oxydation. De la sorte, les cossettes resteraient complètement blanches et pourraient, selon toute probabilité, se conserver plus longtemps.

L'emploi de la chaux pourrait également paraitre indiqué. Bien que cette matière donne aux cossettes une teinte verdâtre, elle les protège contre une altération trop rapide et facilite la dessiccation. Toutefois, la difficulté d'éliminer ensuite la chaux et l'impossibilité d'employer les résidus du travail pour le

nourriture du bétail qui leur assure actuellement une grande valeur, font que cette modification tout bien compté ne serait pas avantageuse. On voit que la dessiccation des betteraves dans des conditions à l'abri de toute critique constitue, quelque solution que l'on adopte, un problême difficile.

Les dispositifs employés jusqu'à ce jour pour la dessiccation sont encore très-imparfaits. La température n'y est pas égale dans toutes les parties; l'effet utile dépend trop de l'attention des ouvriers, de la direction du vent, de la pluie, etc. La grosseur inégale des cossettes prismatiques empêche également la régularité de l'évaporation. Les plus petits morceaux, offrant proportionnellement une plus grande surface à l'air, sèchent plus vite que les autres, et si on attend que toute la charge soit sèche, une partie se trouve avoir sonffert d'un excès de chaleur inutile.

La dessiccation rationnelle des betteraves est donc une condition essentielle d'un rendement satisfaisant en sucre; aussi, le fabricant devrait-il toujours, ou bien dessécher lui-même les betteraves, ou faire surveiller de très-près ce travail.

C'est sous cette réserve seulement que me paraît réalisable l'idée de Schutzenbach d'opérer la dessiccation en dehors de la fabrique. Le fabricant, qui se bornerait à acheter des betteraves desséchées par d'autres que par lui, s'exposerait probablement à rencontrer dans son travail des difficultés sérieuses.

Les tourailles de dessiccation employées aujourd'hui sont disposées de façon à sécher les cossettes; soit par l'action directe de la fumée, soit par l'air chaud sans mélange de fumée.

Dans la première disposition, les gaz du foyer arrivent directement sur les betteraves, mélangés avec plus ou moins d'air atmosphérique. Les figures 124 et 125 représentent une installation de ce genre, qui existait à Altshausen en 1846, et était disposée pour brûler de la tourbe. Cette installation exigerait quelques modifications, suivant qu'on voudrait y brûler du coke, de la houille ou du bois, mais le principe général reste toujours le même. Dans le type dont nous donnons les dessins, les soles de dessiccation *a a* sont inclinées de chaque

côté à partir du milieu, pour rendre plus facile le travail de retournement des cossettes. Ces soles sont formées par des grillages métalliques qui offrent à l'air un passage aussi facile que possible et assurent ainsi son contact intime avec toutes les parties de la masse à dessécher.

Fig. 124.

Au-dessous des soles *a a* est une voûte *b* dans laquelle sont ménagés plusieurs passages. Cette voûte a pour but de répartir aussi uniformément que possible l'air chaud qui arrive du bas et qui doit passer sur les betteraves. Les ouvertures *c c* et *d d* permettent l'introduction de l'air extérieur froid qui vient se mélanger avec les gaz de la combustion. En fermant en partie ces ouvertures, on règle à volonté les proportions du

mélange et par suite sa température. *e e* foyers munis de grilles; *f* portes du foyer; *g* cendrier. La voûte en briques *h*, se trouvant portée à une température élevée, assure la combustion de la fumée et force les gaz à passer par les ouvertures latérales *i i*. Le courant gazeux se divise de nouveau en passant à travers les obstacles *b* et sort à une température assez uniforme. Les cossettes, apportées sur l'un des côtés de la sole,

Fig. 125.

sont soigneusement retournées et amenées peu à peu à l'autre extrémité. Avec ces précautions, et si l'on dispose d'un nombre de fours convenable, il est assez facile de diriger la température et de rendre la dessiccation uniforme.

Il ne faut pas se dissimuler que la construction de ce genre de tourailles laisse encore beaucoup à désirer: on doit y brûler des combustibles ne donnant pas de fumée, pour ne pas noircir les cossettes. Aussi, n'emploie-t-on généralement que du coke. On a dès-lors été amené, dans plusieurs usines de Magdebourg à installer des dispositifs où l'on brûlait des gaz provenant généralement des lignites. Dans ces conditions, on évite complètement la fumée, tout en trouvant un avantage réel au point de vue de la dépense. Pour achever ce qui se rattache à la marche de la dessiccation, nous ajouterons que les gaz de la combustion, en rencontrant dans leur mouvement ascensionnel les couches de cossettes froides et humides, se saturent de vapeur d'eau, se refroidissent plus ou moins, et perdent de leur tendance à s'élever. Pour remédier à cet inconvénient, on a disposé dans quelques installations des gaînes *k*, représentées figure 100, qui débouchent dans la cheminée d'évent et empêchent la fumée de se répandre dans toute la salle. Le tirage est d'ailleurs assuré par la cheminée *l* qu'on élève à une hauteur suffisante au-dessus du toît.

Les figures 126 et 127 représentent une autre disposition de tourailles indiquée par Schutzenbach. *b* est la porte du foyer, *c* la grille, sur laquelle on peut brûler toute espèce de combustible, les produits de la combustion ne venant pas en contact direct avec les betteraves. *d* manteau en fonte, ou mieux, en terre réfractaire, disposé au-dessus du foyer et débouchant dans un tuyau en fonte *e*. Cette pièce *e* se continue par des tuyaux en tôle *f*, qui font un grand nombre de circuits. Les couvercles *g* permettent d'ailleurs, en s'enlevant, un nettoyage facile de l'intérieur des conduits. Les produits de la combustion, après avoir parcouru tous les tuyaux et leur avoir cédé la majeure partie de leur chaleur, arrivent à la cheminée *m*. Le tirage et, par suite, la combustion sont donc indépendants de l'épaisseur de couches de betteraves soumises à la dessiccation. — Le tuyau de fonte *e* repose sur les maçonneries *i i*, les tuyaux de tôle *f* sur les supports *h*. *l l* sont des ouvertures par lesquelles l'air peut entrer du dehors. L'air

s'échauffe au contact des tuyaux *f* et s'élève en déplaçant les couches qui se trouvaient dans l'enceinte. *n*, toît en tôle destiné, en partie à assurer une répartition plus uniforme de

Fig. 126.

l'air, en partie à empêcher les petits morceaux de betteraves qui auraient pu passer au travers du grillage *h* de tomber sur les tuyaux de chauffage où ils brûleraient.

Cette disposition ne doit exiger qu'une consommation de combustible de très-peu supérieure à la précédente. Toutefois, les gaz de la combustion, passant au milieu des tuyaux, ne cèdent qu'imparfaitement leur chaleur aux parois métalliques, et il semblerait plus avantageux d'employer des tuyaux verticaux dans lesquels les produits de la combustion seraient obligés de circuler de haut en bas. Le nettoyage des tuyaux serait tout aussi facile, la transmission de la chaleur vraisemblablement meilleure, et l'installation entière n'occuperait qu'une hauteur moindre. D'autre part, en se bornant à dessécher dans chaque opération une seule couche de cossettes de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, on est dans de mauvaises conditions économiques. La dessiccation se fait en effet d'autant plus vite que l'air chaud est plus sec, et, par suite, en état d'absorber plus de vapeur d'eau. Tant que les betteraves sont encore fraiches, la saturation de l'air est assez complète, mais quand les cossettes sont déjà en partie desséchées, l'air chaud ne peut plus, en les traversant, se charger de la quantité d'eau qui correspond à sa température; une grande partie de la chaleur est donc inutilisée. A ce titre, il semble préférable de disposer les cossettes à dessécher sur plusieurs étages superposés, par exemple comme

Fig. 127.

l'indique la figure 128, de façon que les grillages inférieurs *a* reçoivent les cossettes presque sèches, ceux du milieu a_1 les cossettes en partie desséchées, et qu'enfin on charge les matières fraiches, vertes, à la partie supérieure en a_2. Dans ces conditions, l'air chaud, arrivant dans l'intervalle du fourneau *d* et des tuyaux de chauffage verticaux *f*, circulerait de bas en haut au travers des matières à dessécher, et il suffirait, en retournant celles-ci, de les faire descendre lentement sur les grillages inférieurs, en sens inverse du mouvement de l'air. De cette façon, la chaleur se trouverait utilisée d'une manière bien plus complète. Il serait d'ailleurs facile de donner mécaniquement le mouvement aux cossettes. Il va de soi, qu'avant d'adopter ce dispositif d'une manière générale, il conviendrait de le soumettre à des essais faits avec soin, de relever les degrés hygrométriques, de façon à déterminer le nombre d'étages le plus avantageux, etc. Du reste, toute cette installation est empruntée aux tourailles à malt qui donnent de très-bons résultats.

Fig. 128.

D'après Knapp, chaque mètre carré de touraille à une seule sole pourrait dessécher par 24 heures 300 k^{m} de betteraves.

En partant de cette base, il faudrait, pour 50,000 k^mes de betteraves travaillées journellement 170^mc de surface de sole. Nous avons déjà indiqué, dans le premier volume, la dépense qu'exigeait cette dessiccation, et nous avons vu qu'elle s'élevait aussi haut que le prix de revient de la production complète du jus dans l'ancienne méthode.

Les dépenses principales portent d'ailleurs sur la consommation de charbon et sur la main-d'œuvre. En ce qui concerne le premier de ces éléments, il faut compter de 25 à 30 k^mes de coke par 100 k^mes de betteraves fraiches. La quantité d'eau enlevée étant de 82 k^mes environ, chaque kilogramme de coke n'évapore que 3 k^mes d'eau tandisque, sous un générateur, il produirait 6 k^mes de vapeur. Cette différence du simple au double prouve bien les progrès qui restent encore à réaliser dans la dessiccation des cossettes.

Il faut compter, pour 50,000 k^mes de betteraves, de 108 à 124 journées d'ouvriers, tandis que l'extraction du jus des betteraves fraîches n'exige au plus que 70 journées.

L'économie dans les frais de production du sucre ne peut donc provenir, si elle existe, que d'un rendement plus fort, car les frais d'extraction par l'alcool ne sauraient être inférieurs à ceux du traitement des cossettes desséchées par l'eau. Or, cette dernière dépense peut s'évaluer ainsi qu'il suit, pour 100 k^mes de betteraves, en négligeant le prix d'achat et l'impôt:

Frais de dessiccation	1^f,20 %	k^es	de betteraves
Fabrication du sucre brut . .	0^f,89	-	-
Frais divers	0^f,92	-	-
Total pour le sucre brut . .	3^f,01 %	-	-
Frais de raffinage	0^f,50	-	-
Total	3^f,51 %	-	-

On voit que ce prix de fabrication est aussi élevé que celui des méthodes actuelles et, en admettant l'économie des frais de raffinage, on aurait à compter la perte d'alcool qui, comme nous l'avons vu, est d'au moins 0^f,29.

En résumé, d'après tout ce que l'on connait sur ce procédé, les brillantes espérances qu'il avait fait concevoir ne se

sont pas réalisées; ainsi qu'on pouvait le prévoir a priori, l'excédant de frais qu'il entraîne n'est pas compensé par une élévation correspondante dans le rendement. Peut-être cependant ce jugement n'est-il pas définitif, et l'avenir indiquera-t-il des modifications qui rendent cette méthode susceptible d'être adoptée dans la pratique.

Chapitre VII.

Traitement du jus par l'acide carbonique.

Le jus de betteraves, au moment où il vient d'être défé-qué ou plutôt clarifié, est loin d'être une dissolution de sucre pur: il renferme diverses substances qui s'opposent, en vertu d'actions, soit physiques, soit chimiques, à la cristallisation du sucre. En effet, et comme nous l'avons vu précédemment, la défécation ne sépare qu'une assez faible quantité de matières étrangères d'origine organique ou minérale. D'autre part, le procédé même de la défécation introduit dans le jus une certaine proportion de chaux. Or, cette substance ne favorise pas la cristallisation et, comme elle se combine avec une partie du sucre pour former un sucrate de chaux, il en résulte, si on concentre les jus en présence de cet excès de chaux, qu'une partie du sucre échappe à la cristallisation.

Le fabricant a donc intérêt à détruire ce sucrate de chaux; en séparant la base, soit à l'état de carbonate, soit sous toute autre forme, il retrouve son sucre libre et capable de cristalliser. Il convient dès-lors de chercher le moyen le plus économique d'éliminer cet excès de chaux.

Parmi tous les agents que l'on peut employer dans ce but, le plus avantageux est, sans contredit, l'acide carbonique; aussi y a-t-on recours dans presque toutes les fabriques. Il agit pour éliminer la chaux comme le ferait l'action de 50 p. de noir sur 100 de jus. Or, si l'on n'employait que le noir pour déchauler les jus, la revivification exigerait des quantités con-

sidérables d'acide chlorhydrique et, par suite, entrainerait une dépense très-élevée. D'ailleurs, en dehors de la chaux, le noir a pour but d'éliminer les substances organiques, et il absorbera d'autant plus de ces dernières que le jus aura été mieux dépouillé des matières alcalines avant d'arriver à la filtration. Il parait par suite rationnel à tous les points de vue de recourir à l'emploi de l'acide carbonique, dont l'usage est facile, qui agit vite et complètement, qui enfin n'exerce sur le sucre aucune action nuisible.

Les moyens de produire l'acide carbonique sont très-nombreux. Michaëlis l'obtient en traitant dans des cuves en bois du carbonate de chaux, (Craie, Marbre, etc.), par de l'acide chlorhydrique. L'acide carbonique ainsi dégagé est très-pur, mais d'un prix assez élevé. Toutefois, cet inconvénient n'existait pas pour Michaëlis, qui utilisait le chlorure de calcium produit dans son procédé de défécation décrit au chapitre précédent.

Rousseau, Kleeberger, Kindler et d'autres ont proposé de produire l'acide carbonique par la combustion du charbon de bois ou du coke. Ce procédé, grâce à sa simplicité et à son économie, s'est introduit dans beaucoup de fabriques. Rousseau (comme Kleeberger en Allemagne, puis Lehachère en Russie ensuite), se servait d'une pompe qui forçait l'air froid à traverser une couche de charbon incandescent dans un foyer fermé. Cette méthode présente de nombreux inconvénients. Les foyers en fer dans lesquels se fait la combustion se brûlent très-facilement à la partie supérieure et, par suite, la fermeture est rarement hermétique. D'autre part, l'épaisseur du combustible ne peut être maintenue uniforme et la charge constante; la hauteur varie en effet dans l'intervalle de deux chargements. Dans ces conditions, comme la pompe fournit toujours la même quantité d'air, il se produit plus ou moins d'oxyde de carbone; tout au moins, le rapport entre l'air et le charbon n'étant pas constant, on ne peut maintenir la production d'acide carbonique à son maximum. En dehors du prix élevé de l'installation, des réparations fréquentes qu'elle exige,

l'indique la figure 128, de façon que les grillages inférieurs a reçoivent les cossettes presque sèches, ceux du milieu a_1 les cossettes en partie desséchées, et qu'enfin on charge les matières fraiches, vertes, à la partie supérieure en a_2. Dans ces conditions, l'air chaud, arrivant dans l'intervalle du fourneau d et des tuyaux de chauffage verticaux f, circulerait de bas en haut au travers des matières à dessécher, et il suffirait, en retournant celles-ci, de les faire descendre lentement sur les grillages inférieurs, en sens inverse du mouvement de l'air. De cette façon, la chaleur se trouverait utilisée d'une manière bien plus complète. Il serait d'ailleurs facile de donner mécaniquement le mouvement aux cossettes. Il va de soi, qu'avant d'adopter ce dispositif d'une manière générale, il conviendrait de le soumettre à des essais faits avec soin, de relever les degrés hygrométriques, de façon à déterminer le nombre d'étages le plus avantageux, etc. Du reste, toute cette installation est empruntée aux tourailles à malt qui donnent de très-bons résultats.

Fig. 128.

D'a
sole pou

En partant de cette base, il faudrait, pour 50,000 k^mes de betteraves travaillées journellement 170^mes de surface de sole. Nous avons déjà indiqué, dans le premier volume, la dépense qu'exigeait cette dessiccation, et nous avons vu qu'elle s'élevait aussi haut que le prix de revient de la production complète du jus dans l'ancienne méthode.

Les dépenses principales portent d'ailleurs sur la consommation de charbon et sur la main-d'œuvre. En ce qui concerne le premier de ces éléments, il faut compter de 25 à 30 k^mes de coke par 100 k^mes de betteraves fraiches. La quantité d'eau enlevée étant de 82 k^mes environ, chaque kilogramme de coke n'évapore que 3 k^mes d'eau tandisque, sous un générateur, il produirait 6 k^mes de vapeur. Cette différence du simple au double prouve bien les progrès qui restent encore à réaliser dans la dessiccation des cossettes.

Il faut compter, pour 50,000 k^mes de betteraves, de 108 à 124 journées d'ouvriers, tandis que l'extraction du jus des betteraves fraîches n'exige au plus que 70 journées.

L'économie dans les frais de production du sucre ne peut donc provenir, si elle existe, que d'un rendement plus fort, car les frais d'extraction par l'alcool ne sauraient être inférieurs à ceux du traitement des cossettes desséchées par l'eau. Or, cette dernière dépense peut s'évaluer ainsi qu'il suit, pour 100 k^mes de betteraves, en négligeant le prix d'achat et l'impôt:

Frais de dessiccation	1^f,20 %	k^me de betteraves
Fabrication du sucre brut . .	0^f,89 -	- -
Frais divers	0^f,92 -	- -
Total pour le sucre brut . .	3^f,01 %	- -

vertu de la chaleur élevée et de la circulation des gaz, le calcaire placé en *A* abandonne son acide carbonique et se transforme en chaux vive, que l'on retire de temps en temps par les portes inférieures *m*. Cette chaux trouve d'ailleurs son emploi naturel à la défécation.

[Il est bon de mélanger le calcaire, dans le four, à une petite proportion de combustible; on met, en général, 1/8 de coke, en volume. Pour les charges de combustible mêlées au calcaire il faut absolument du coke ou du charbon de bois, les

Fig. 130.

combustibles non carbonisés ne sauraient convenir. Pour chauffer les foyers on doit choisir entre du bon coke lavé, du bois sec, de l'anthracite, ou certaines houilles dures, sèches, et bien pures. Quelques fabricants, lorsque le four est bien en marche, ferment les foyers, et la combustion se continue ainsi; il faut alors forcer les charges de coke par rapport à la proportion du calcaire.

Dans une bonne marche du four à chaux, le gaz doit titrer de 20 à 23 % en acide carbonique. On emploie différents monte-charges pour élever le calcaire et le coke sur la plate forme du four; les uns prennent leur mouvement sur une des transmissions de l'usine, ce sont, sans contredit les plus commodes; d'autres reposent sur un système hydraulique, mais leur emploi ne laisse pas que de présenter certaines difficultés en hiver, alors que l'eau est susceptible de se congeler.]

Les ouvertures ménagées à diverses hauteurs permettent de faire descendre le calcaire quand on a retiré la chaux. Elles sont fermées pendant la marche.

L'acide carbonique produit par le calcaire dans la cuve *A* et mélangé avec les produits gazeux de la combustion est aspiré par la pompe et passe en *e e* dans le vase *B*, où le tuyau *n* le force à traverser l'eau sous forme de bulles. Le gaz s'élève ensuite par les tuyaux *o* et traverse à trois reprises une couche mince d'eau. Cette eau est amenée par le tuyau *p* et s'écoule en *q*, de telle sorte que son niveau reste constant; ce lavage purifie le gaz acide carbonique en même temps qu'il le refroidit. Le gaz passe ensuite dans le cylindre *h* où il se dépouille de la petite quantité d'eau dont il avait pu se charger en *B*. Cette eau s'écoule en *r*, tandis que le gaz convenablement desséché est appelé en *g* à la pompe et de là envoyé aux bacs de carbonatation. Cette installation rationnelle a été conçue et réalisée pour la première fois par MM. Cail, Halot et C^ie^.

Dans les petites fabriques, on se sert, pour la production de gaz, de fours périodiques d'une construction très-simple et dont l'usage très-répandu en Prusse se comprendra facilement d'après les explications qui seront données ci-après:

Lorsque l'on emploie, pour calciner la chaux, un combustible sulfureux, l'acide carbonique peut se trouver chargé d'acide sulfureux. Pour dépouiller le gaz de cette impureté on fait dans beaucoup d'occasions usage d'oxyde de manganèse.

On obtient de l'acide carbonique incontestablement plus pur lorsqu'on calcine de la craie, du marbre ou de la pierre

à chaux dans des cornues, de façon à ce que les produits gazeux de la combustion ne viennent pas se mélanger à ceux que donne la décomposition du calcaire. — Une circulation de vapeur d'eau surchauffée facilite notablement le dégagement du gaz acide carbonique et son entrainement. Aussi, fait-on souvent arriver dans ce but à l'une des extrémités de la cornue un jet de vapeur surchauffée, tandis que de l'autre côté se trouve le tube de dégagement du gaz.

L'échauffement du fourneau ne doit pas atteindre le rouge fondant, ou du moins ne doit pas dépasser cette limite, au delà de laquelle il se formerait de l'hydrogène dont la présence est une source d'inconvénients. Pour s'assurer de la marche de la température et en fixer la limite, le fabricant peut faire usage d'un simple pyromètre métallique comme celui de Gaunlett par exemple, engagé dans la cornue. Une fois la température la plus convenable fixée, l'ouvrier peut la maintenir sans aucune difficulté.

La pierre à chaux que l'on emploie est réduite en petits morceaux (250 à 300 centimètres cubes au plus). Les chargements se font chaque fois par portions de 75 à 100 k^{os}. Après chaque charge, le couvercle est garni de chaux en pâte et le joint serré. Lorsqu'on arrive à la chaleur du rouge fondant, on peut ne conserver qu'un très-faible jet de vapeur qui suffit pour déterminer le dégagement de la plus grande partie de l'acide carbonique en 4 heures. A ce moment, on retire la première partie de la charge à l'arrière de la cornue et on introduit une nouvelle quantité de pierre. Quatre heures après, c'est-à-dire huit heures après le commencement du travail, on retire la partie la plus ancienne, on pousse au fond de la cornue la partie chargée quatre heures avant, et on introduit du calcaire frais. On voit que les cornues contiennent toujours deux charges, soit environ 150 k^{os} de calcaire. On peut aussi, pour plus de facilité, emplir d'une seule fois la cornue, chauffer jusqu'à ce que tout l'acide carbonique soit dégagé, puis vider entièrement l'appareil, et ainsi de suite. Une fabrique qui travaille 50,000 k^{os} de betteraves par jour a

à précipiter 150 k^os de chaux, ce qui correspond à 119 k^os d'acide carbonique ou à la calcination de 297 k^os de calcaire. On voit donc que l'installation peut être très-réduite. Il importe d'ailleurs d'observer que le travail du four donne à peu de frais de la chaux vive parfaitement pure, fraiche et très-convenable pour la défécation, ce qui permet d'améliorer notablement le travail.

La fermentation alcoolique fournit encore une autre source plus économique et tout aussi pure d'acide carbonique. Par suite, lorsqu'une distillerie se trouve dans le voisinage d'une fabrique de sucre, il est facile de recueillir l'acide carbonique et de l'employer à neutraliser la chaux dans les jus déféqués. Cette disposition est adoptée à Seelowitz, et dans beaucoup d'autres endroits. La quantité d'acide carbonique qu'on obtient ainsi est à peu près égale au poids d'alcool fourni par la distillation, car, dans la fermentation alcoolique, le sucre se dédouble en deux parties sensiblement égales.

On peut également utiliser l'acide carbonique qui se développe dans la combustion de la houille ou du coke. Cet acide, il est vrai, est loin d'être pur, puisque les gaz qu'on obtient ainsi sont un mélange d'air non brûle, de particules de charbon, d'huiles empyreumatiques, etc. Mais des lavages par des solutions alcalines permettent d'éloigner, parmi ces principes étrangers, au moins les plus nuisibles, et dans ces conditions, on a l'acide carbonique au plus bas prix possible. Notons toutefois que les jus saturés par cet acide carbonique impur ne donnent jamais des masses cuites très-satisfaisantes.

[M. Cornill Wœstyn a imaginé un four à chaux horizontal, dont la sole qui est voûtée, a huit mètres de long. Le foyer est à l'une des extrêmités; à l'autre se trouve une chambre en maçonnerie dans laquelle s'enmagasinent tous les gaz produits. Cette disposition prévient les engorgements et permet d'utiliser des calcaires de médiocre qualité. On peut aussi y calciner à nouveau les tourteaux des filtres-presses, ce qui peut être avantageux dans les pays privés de chaux.]

L'acide carbonique a d'autant plus de valeur pour le fabricant qu'il est plus pur. La méthode que nous avons exposée précédemment, page 46, et qui est due à Weiler permet d'opérer ce dosage d'une façon aussi sure que rapide, et nous ne saurions trop en recommander l'emploi fréquent.

En analysant ainsi des gaz produits par le four de Rousseau, j'y ai trouvé de 10 à 12 % d'acide carbonique, c'est-à-dire la même richesse que dans les gaz provenant des fours à chaux. Avec les appareils de Kindler au contraire, la teneur en acide carbonique s'élevait souvent à 16 % (et même à 18). Pour apprécier la valeur de ce résultat, il faut se rappeler que l'air est formé en volume de 21 d'oxygène et 79 d'azote. Ce dernier gaz est ici inerte, et nous ne disposons par suite que de 21 volumes d'oxygène susceptibles de se combiner au carbone pour donner de l'acide carbonique.

On essaye souvent le gaz en voyant s'il s'enflamme avec une allumette. Cette expérience ne peut donner d'indications que sur la présence de l'oxyde de carbone qui, dans ce cas, brûle avec une flamme bleue.

Le mode d'emploi de l'acide carbonique dans les fabriques est extrèmement simple, et les appareils sont plus ou moins identiques à ceux que nous avons décrits, pages 31 et suivantes, à propos de la méthode Frey-Jellinek. Le jus défèqué arrive des chaudières de défécation dans les bacs de saturation, où l'on injecte, à l'aide de pompes, l'acide carbonique. Dès que le bac est rempli, on fait arriver le gaz de façon à assurer son contact intime avec le jus défèqué. Au début de l'opération, il se produit une mousse abondante qu'on détruit facilement, soit avec des corps gras, soit en agitant fortement la masse.

[Aujourd'hui, dans presque toutes les usines, on fait usage, pour abattre les mousses, du système Évrard. Le système consiste à injecter de la vapeur à la surface du liquide au moyen de tubes percés de trous et disposés en travers de la chaudière à 20 centimètres environ au-dessous du bord supérieur. Les trous sont placés sur les côtés seulement des tubes de façon à donner passage à la vapeur par jets qui coupent les mousses

et les rabattent sur la chaudière sans donner lieu aux projections. On a fait à l'émousseur Évrard le reproche de consommer beaucoup de vapeur; il n'en constitue pas moins le moyen le plus propre et le plus efficace de parer aux inconvénients des mousses.

Plusieurs autres systèmes d'émousseurs ont été proposés; les uns, ne reposent absolument que sur l'agitation, et ne produisent qu'un effet purement mécanique; tel est l'émousseur Quarez qui consiste essentiellement en une roue horizontale munie de palettes solidaire d'un axe vertical animé d'un mouvement de rotation; comme la dépense de force et très-minime, cet axe peut être commandé par la machine de la pompe à gaz; d'autres reposent sur l'injection du jus même sur les mousses: tel est le système pour lequel M. Morelle a proposé plusieurs genres d'application. Les plus rationnels consistent à élever au moyen d'appareils rotatoires du jus, pris dans la chaudière même, et à laisser ce jus retomber en pluie sur les mousses.

Enfin, M. Midol a combiné l'action de la vapeur et l'agitation mécanique dans un appareil ingénieux. C'est un tourniquet à vapeur. La consommation de vapeur parait être bien moindre que celle nécessitée par les tubes Évrard; mais l'installation de l'appareil ne laisse pas que d'être assez compliquée.]

Les mousses ne se produisent du reste qu'au commencement. Lorsque les dernières parties de sucrate de chaux sont décomposées, le liquide perd sa viscosité et ne donne plus d'écume. — Aussi, la disparition des mousses fournit-elle un indice pratique du moment où l'opération est achevée. On s'en assure d'ailleurs plus exactement en prenant un échantillon du liquide. On suspend l'opération lorsque le précipité calcaire se sépare rapidement en formant des flocons volumineux.

Dans certaines usines, pour éviter l'inconvénient des mousses, on fait usage de chaudières à carbonater fermées comme l'indiquent les fig. 131 et 132. Le gaz est injecté par le tuyau *a b*. Le jus arrive en *f* et pénètre dans le bac par la nochère *g*. Sous l'action du gaz, une partie du jus est refoulée par les trous *m* dans la caisse d'avant *B*. Dans cette partie du bac,

Fig. 131.

Fig. 132.

il s'établit un nouveau contact du jus avec le gaz carbonique. Le regard *i* permet de suivre le travail. On a soin d'ailleurs de modérer les mousses très-abondantes au début, avec un corps gras ajouté en petite quantité.

Le jus est alors immédiatement amené dans de grands bacs de dépôt (débourbeurs), où le carbonate de chaux se dépose rapidement. Le jus clarifié est soutiré et envoyé à la filtration. Le dépôt, formé de carbonate de chaux et des matières organiques entraînées par ce sel, est mis dans des sacs, pressé et conservé comme engrais.

La quantité de résidu qu'on obtient ainsi varie suivant la proportion de chaux employée à la défécation, la qualité des betteraves, etc. Dans mes essais sur la défécation simple, j'ai trouvé que ce résidu représentait à peu près 0,24 % de jus, (soit ¼ % de la quantité totale). Ainsi que nous l'avons dit, ce dépôt n'est pas uniquement formé de carbonate de chaux; il renferme en outre un mélange de chaux avec diverses substances azotées entrainées par la base au moment de la précipitation. La proportion de matières azotées, albumineuses, etc., ainsi enlevées au jus est d'autant plus forte qu'on a précipité à la saturation une dose de chaux plus considérable. Quoique, en vertu même de ce qui précède, les dépôts de la saturation doivent être très-variables dans les diverses fabriques, leur analyse permet toutefois de tirer quelques conclusions au moins approchées, et je reproduis ici une expérience de cette nature faite par Hoffmann.

Carbonate de chaux	59,09
Chaux	3,16
Sulfate de chaux	0,68
Oxyde de fer et alumine	3,75
Matières organiques	27,32
Résidu insoluble	1,00
Eau	5,00
	100,00

Dans ce cas, 100 parties de résidu désséché contenaient 27 % de matières organiques. Comme sur 100 parties de jus,

on sépare 0,24 % de résidu humide à 40 % d'eau, soit environ (0,24 × 60) ou 0,14 % de résidu sec, on élimine ainsi 0,14 $\times \frac{27}{100}$ ou 0,04 % de matières azotées.

Michaëlis indiqué que, dans le résidu de la saturation de 1000 parties de jus, il y avait:

0,011 parties de graisse
0,038 de matière gommeuse végétale
0,218 de légumine
0,003 d'albumine

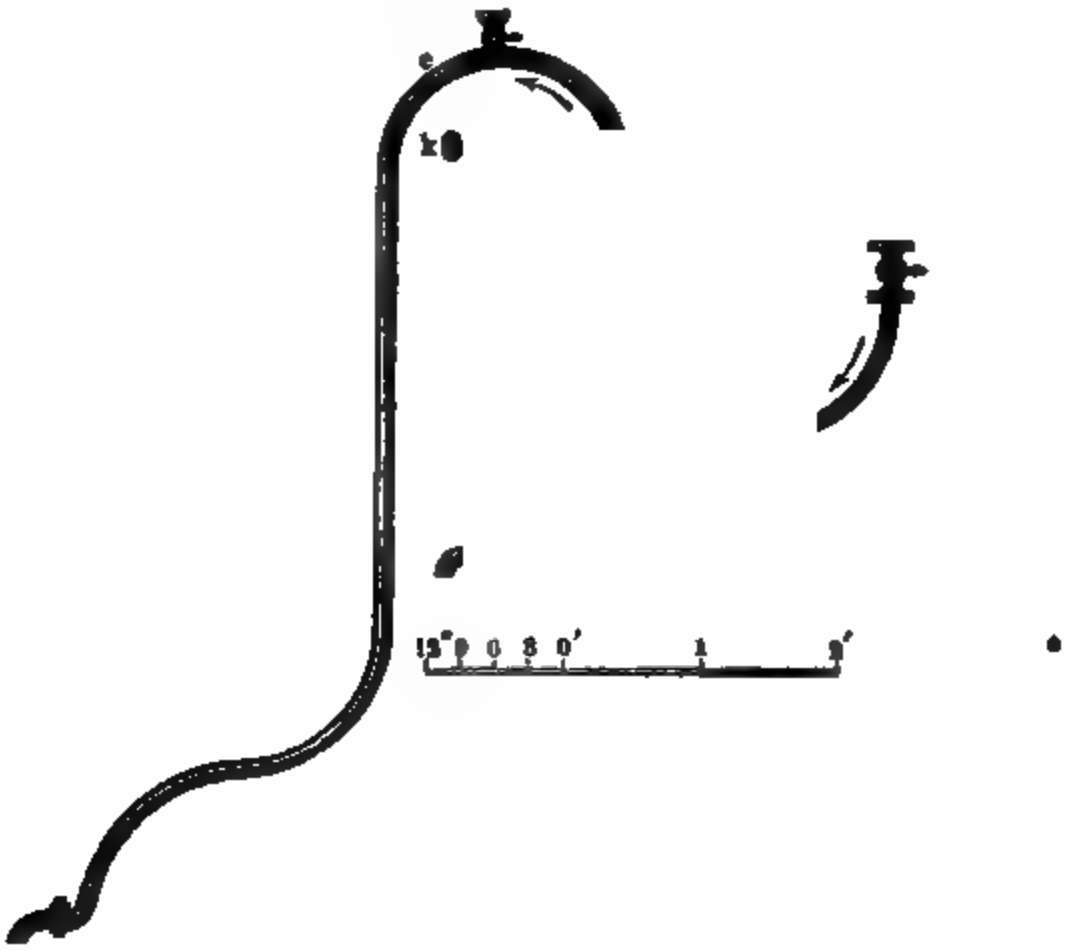
0,270 parties sur 1000
soit 0,027 % de matières organiques.

Pour compléter ce qui concerne le mode d'emploi de l'acide carbonique, nous ajouterons que les bacs à saturation peuvent, quand on en possède un nombre suffisant, servir en même temps de bacs de dépôts, où le jus se clarifie par le repos et d'où il passe directement aux appareils de filtration. Toutefois, pour éviter l'entrainement des dernières portions des dépôts encore en suspension, il convient de faire subir alors au jus un tamisage spécial. Dans quelques usines, on dispose, à l'embouchure du tuyau d'évacuation des jus et à la sortie du bac de saturation, des sortes de filtres préparatoires formés par des toiles métalliques doublées de laine et une couche de noir animal. Cette disposition, qui rappelle les appareils employés pour la clarification de l'eau, se prête à des nettoyages faciles. Les matières floconneuses ou solides sont arrêtées d'une manière complète et sans qu'on ait à craindre d'engorgements. Si d'ailleurs on a soin de faire circuler les jus de bas en haut à travers ces sortes de filtres, on se trouve à l'abri des formations de croûtes ou des dépôts d'écume qui, dans les filtres ordinaires, entravent souvent la circulation des liquides.

La fig. 133 représente un de ces filtres. Le jus arrive en *a* où il abandonne la partie la plus considérable des boues entrainées. Il filtre ensuite en *b* à travers une enveloppe de laine et une couche de noir *c* pour sortir en *d* parfaitement

clair et se déverser par le syphon *e*. Le nettoyage se fait d'ailleurs très-simplement en enlevant les pinces *k k*.

Fig. 133.



Il convient encore de signaler ici que le carbonate de chaux à une basse température est très-volumineux et se dépose difficilement, tandis qu'à l'aide d'une chaleur plus élevée (75° et au-dessus), la séparation se fait très-vite par gros flocons. Aussi, est-il avantageux de porter le jus à l'ébullition immédiatement après la saturation, et à cet effet, on dispose généralement des tuyaux de vapeur dans les bacs à saturer. Cette installation rend plus difficile le nettoyage des bacs, et à ce titre, des chaudières à double-fond sont sans contredit plus commodes.

Comme on l'a vu d'après ce qui précède, l'emploi de l'acide carbonique est principalement fondé sur ce que ce gaz peut précipiter économiquement la majeure partie de la chaux. Cette facilité, qui permet d'employer une quantité quelconque de chaux, est surtout importante, dans l'état actuel de l'industrie,

lorsqu'on travaille des betteraves à une époque tardive, ou que les racines sont en partie altérées.

On améliore d'ailleurs ainsi en même temps dans une légère proportion la qualité des jus et des masses cuites, puisqu'on sépare un peu plus de matières azotées. Aussi, il n'est pas aujourd'hui un seul fabricant qui ne recoure à ce procédé économique de la carbonatation.

On peut évaluer ainsi qu'il suit la dépense en main-d'œuvre qu'entraîne ce travail.

Pour la saturation proprement dite, on compte par

24 heures 2 journées ½, soit pour 100 jours 250 journées à 1f,20 ci	300 f.
Par 24 heures et pour 50,000 kos mis en œuvre, 2 journées pour le service des monte-jus, soit pour la campagne 200 journées à 1f,20	240 -
Enfin, le prix de revient de l'acide carbonique nécessaire peut être évalué à	500 -
Total . . .	1,040 f.

La quantité travaillée étant suposée de 5,000,000 kos qui à 90 % représentent 4,500,000 kos de jus, on voit que 100 kos de jus coûtent pour la saturation 0f,023.

Mais la saturation ne saurait enlever complètement aux jus toutes les bases qu'ils renferment. Lorsqu'on travaille en grand à la preuve ordinaire, (séparation de gros flocons), l'alcalinité du jus due à la potasse, la soude et la chaux est à peu près la moitié de celle de l'eau de chaux. Celle-ci contenant environs 0,136 % de chaux, on voit que l'alcalinité des jus est sensiblement 0,07.

Otto donne les chiffres suivants pour les essais alcalimétriques du jus à la saturation:

au bout de	10	minutes,	0,078 à 0,067	de chaux
-	15	-	0,060	-
-	20	-	0,048	-
-	22	-	0,016	-

Dans des jus qui n'avaient pas été portés jusqu'à l'ébullition et qui avaient reçu 2 % de chaux, M. Kuhlmann trouva

par hectolitre 176 grammes de chaux. Après le traitement par l'acide carbonique, le même jus contenait divers alcalis équivalant à 60 grammes de chaux; si l'on retranche de ce chiffre 29 grammes de chaux pour représenter la potasse et la soude, on voit que la dissolution retenait en réalité 31 grammes de chaux.

L'acide carbonique avait donc enlevé (176—31) ou 145 grammes de chaux.

Un autre jus de betteraves additionné de 1½ % de chaux (à 102°) donnait par l'essai alcalimétrique 228 grammes de chaux par hectolitre, (soit plus de 2 ‰ du jus déféqué). Après un traitement répété par l'acide carbonique, le jus ne contenait plus que 34 grammes de chaux.

M. Possoz fut le premier qui démontra que l'on pouvait séparer par l'acide carbonique la *totalité* de la chaux.

Les jus présentent cette propriété caractéristique qu'ils deviennent plus clairs lorsque leur alcalinité est réduite à 0,06 %. Si ce taux est encore diminué, les jus se colorent de nouveau. L'acide carbonique en excès parait dans ce cas redissoudre les matières colorantes, et c'est pour ce motif que MM. Possoz et Périer recommandent d'achever la saturation dans des bacs spéciaux une fois qu'on a enlevé la majeure parties des matières colorantes. On peut aussi admettre que l'acide carbonique injecté dans le jus renferme encore beaucoup d'oxygène de l'air, qui produit sur les matières organiques un effet nuisible, analogue à celui que l'on observait dans les anciens appareils d'évaporation à l'air chaud.

Pour indiquer l'état du jus, beaucoup d'ouvrages techniques se bornent à dire qu'il a été exactement saturé ou qu'il a reçu un excès d'acide carbonique. Ces indications me paraissent d'une nature trop élastique, et je pense qu'il vaut mieux, dans chaque cas, indiquer le taux d'alcalinité, taux qui, ainsi que nous le verrons plus loin, se détermine très-facilement.

Le jus saturé et épuré par une première filtration mécanique est envoyé aux réservoirs situés au-dessus des filtres. Ce

transport s'effectue ordinairement à l'aide d'un monte-jus analogue à celui que représente la fig. 134.

Le jus arrive en *a* dans un cylindre en tôle, jusqu'à une hauteur *b*, où se trouve ménagé un robinet qui indique quand ce niveau est atteint. On ferme alors le robinet d'admission du jus en *a* et on fait arriver la vapeur en *c* par un tuyau qui débouche à la partie supérieure du réservoir. La tension élastique de la vapeur déplace le jus et le force à s'élever jusqu'à la hauteur voulue par le tuyau *d*, dont l'orifice débouche près du fond de l'appareil. Le jus, même étendu, ayant une densité plus forte que celle de l'eau, chaque atmosphère de pression de la vapeur peut l'élever à une hauteur maximum

Fig. 134.

de 8m,50 environ. Lorsque l'appareil ne renferme plus que de la vapeur, on supprime l'admission en *c* et on ouvre le robinet d'échappement de la vapeur *e*, pour pouvoir utiliser cette vapeur une seconde fois dans les chauffages. Lorsque la pression dans l'intérieur du monte-jus est redescendue à la pression atmosphérique, on ferme l'échappement *e*. La vapeur restée dans l'appareil se condense et le vide qui en résulte permet, par la simple manœuvre du robinet *a*, d'emplir à nouveau le monte-jus avec les liquides à élever.

On a construit sur le même principe des monte-jus automoteurs dans lesquels le mouvement même des liquides met en jeu les différents robinets. Ces appareils représentés fig. 134 fonctionnent ainsi d'une manière continue, mais cette continuité même est souvent une cause de gêne et les dérangements dont le mécanisme est susceptible ont empêché que son emploi devînt général.

[Les appareils que nous venons de décrire ont le grave inconvénient de causer la perte d'une petite quantité de jus, par projection, à chaque échappement de vapeur; et ces pertes, souvent répétées, portent en fin de compte sur un volume de jus assez notable. On a essayé récemment[1] de diriger l'échappement dans un récipient collecteur où le liquide entraîné peut se déposer, et rentre en circulation à la charge suivante. Cette disposition adoptée par quelques usines n'est pas coûteuse et donne de bons résultats.]

Les procédés qui reposent sur l'emploi de grandes quantités de chaux n'ont pu s'appliquer et se répandre que grâce aux filtres mécaniques à écumes qui ont rendu plus facile le travail des résidus. C'est donc ici le lieu de décrire ce nouveau progrès de l'industrie. On désigne généralement ces appareils sous le nom de filtres-presses à écumes. L'expression n'est pas complètement exacte, car ils agissent beaucoup moins comme presses que comme filtres, pour retenir dans les écumes les parties solides en suspension dans le jus et permettre à ce

---

1) Journal des fabricants de sucre.

dernier de couler clair. La pression nécessaire à cette filtration est produite par la vapeur agissant dans le monte-jus.

Les filtres-presses ont été d'abord connus en Angleterre; (ils ont figuré à l'exposition de Londres, en 1862, au nom de Needham Kite, et sont décrits sous la classe 8, Annexe Ouest, dans le catalogue officiel de l'exposition). Ces appareils étaient employés dans les brasseries, les fabriques d'huile, les fabriques de porcelaine, et dans diverses industries, mais sous une forme très-imparfaite; ils étaient construits en bois et les liquides y étaient envoyés sous pression par des pompes.

Ces filtres à compartiment pouvaient trouver dans les sucreries une application importante pour débarrasser le jus clarifié de toutes les matières solides et des écumes en suspension; aussi, furent-ils l'objet de nombreuses études, et aujourd'hui on en possède un très-grand nombre de types différents, dont l'ensemble forme, au point de vue historique, une série intéressante. Quoiqu'il en soit, ce serait s'écarter du but de cet ouvrage que d'indiquer chacun des dispositifs successivement adoptés tout en reconnaissant très-volontiers que M. Danck a, le premier, fait connaître les filtres-presses en fer et les a notablement perfectionnés, que d'un autre côté on doit à M. Trinks d'importantes améliorations, je me bornerai à décrire ici le dispositif le plus récent.

La fig. 135 représente l'appareil en service. Les écumes arrivent par le tuyau à robinet *a* au milieu du couvercle d'arrière, et se répartissent de là dans les intervalles formés par les plaques successives *b b*. Ces plaques sont recouvertes de grillages par dessus lesquels sont assujetties de doubles serviettes. Le jus clair passe à travers les serviettes et les grillages et par les robinets *d* dans la rigole *o*, puis dans le tuyau *o'*, pendant que les parties solides sont retenues dans les intervalles compris entre les plateaux *b b*.

Les deux plaques extrêmes d'avant et d'arrière, *e* et *f*, sont reliées par deux boulons filetés *g g* sur lesquels portent les plateaux intermédiaires. Dans la plupart des appareils, on est obligé de manœuvrer séparément à la main les écrous *h h*

qui maintiennent les plaques. Il en résulte presque inévitablement un serrage inégal et souvent, les plateaux se trouvant soumis à des tensions différentes, l'un d'eux éclate. Pour prévenir cet inconvénient, j'ai fixé sur les écrous des roues dentées *i i* commandées par un pignon central *k*, de façon à avoir un mouvement égal des deux côtés. Les roues dentées s'engagent d'ailleurs dans une saillie de la plaque d'avant *f*, de telle sorte qu'en desserrant la presse les écrous entrainent dans leur mouvement cette plaque *f*. De la sorte, après chaque opération, on n'a qu'à faire tomber avec un bâton les tourteaux

Fig. 135

qui se trouvent entre les plateaux. En tournant ensuite la manivelle *x*, on referme la presse qui se trouve toute prête à recevoir une nouvelle charge de jus et d'écumes. Tout l'appareil repose sur un bâti solide *n*.

Les figures 136 et 137 indiquent le mode de construction des plateaux intermédiaires et la manière dont on fixe les serviettes filtrantes. Les plateaux sont formés par un cadre en fonte muni de cannelures en saillie *p* qui laissent entre elles

des conduits par lesquels passe le jus pour se rassembler dans la rigole inférieure *q* et de là sortir par le robinet *d*. *a'* est l'ouverture ménagée dans chaque plateau et qui forme comme le prolongement du tuyau *a*. C'est par cette sorte de canal que les jus troubles ou les écumes se répartissent dans tous les intervalles; *v*, tuyau pour introduire l'eau ou la vapeur et

Fig. 136.

Fig. 137.

permettre de laver à volonté les écumes pressées après filtration. Sur les cannelures *p* est fixée une toile métallique formée, dans

l'appareil dont nous nous occupons, par des fils d'archal tissés et constituant un tissu très-solide, tout en laissant beaucoup d'ouvertures pour le passage des jus et une large surface filtrante. Ce genre de tissu est beaucoup plus avantageux, au point de vue de la solidité, que les toiles métalliques habituellement employées pour les turbines. Comparé aux plaques perforées, il offre au jus des orifices d'écoulement plus nombreux et plus uniformément répartis. Les toiles métalliques, dans les filtres-presses, sont assujetties solidement par quatre écrous *r*, ce qui permet de les enlever et de les nettoyer sans difficulté.

Le jus et les écumes sont introduits dans le filtre sous pression, en ouvrant le robinet ménagé sur le tuyau *a*, lequel vient du monte-jus. Au début du trarail, les liquides ne doivent être introduits que lentement et avec précaution, jusqu'à ce qu'il se doit déposé sur les serviettes une couche mince d'écumes solides. Ce moment arrivé, on peut ouvrir davantage le robinet, sans crainte que la pression de la vapeur fasse passer dans les liquides filtrés des particules solides, car ces particules se trouvent retenues par la couche de matières déjà déposées. Les écumes, qui se répartissent au début sur toute la surface, forment ainsi par elles-mêmes un filtre qui ne laisse passer que des jus parfaitement clairs. C'est du reste d'après l'aspect des liquides sortant de l'appareil que l'ouvrier doit régler l'introduction des matières dans le filtre.

Il est clair qu'au commencement le jus doit sortir en quantité considérable de l'appareil. Peu à peu, et à mesure que la couche de matières solides augmente d'épaisseur, la vitesse de la filtration va diminuant de plus en plus. Lorsque l'écoulement est arrêté, et que le liquide ne sort plus que goutte à goutte, on est arrivé au point où le filtre est complètement rempli d'écumes. On ferme alors le robinet du tuyau d'arrivée *a* et l'on ouvre le filtre à l'aide de la manivelle *u*, ou bien on cherche d'abord à laver les écumes, c'est-à-dire à déplacer par de l'eau le jus qu'elles retiennent encore, de manière à diminuer la perte de sucre que, du reste, on ne saurait jamais éviter d'une manière complète.

A cet effet, le robinet *s* est en communication, soit avec un réservoir d'eau situé à un niveau plus élevé, (de 4 à 8^{m}), soit avec un injecteur, soit enfin avec le fond d'un générateur de vapeur. En ouvrant ce robinet, l'eau arrive dans le filtre, pénètre dans chacun des intervalles *b* ou entre les cannelures *p* et, comme les robinets *d* des plateaux sont fermés, elle s'introduit par côté dans les tourteaux en déplaçant et chassant le jus qui s'y trouve.

Le lavage à l'eau terminé, on ferme le robinet *s* et on introduit en *t* la vapeur, qui déplace à son tour l'eau de l'opération précédente et permet d'obtenir des tourteaux plus secs. Autrefois, on prétendait que ces lavages à l'eau et à la vapeur introduisaient beaucoup de sels dans les jus, mais les recherches analytiques faites à ce sujet ont démontré que le rapport entre le sucre et la chaux ou les alcalis restait toujours constant; ainsi, on trouvait toujours 1^{p},13 de chaux ou d'alcalis pour 100 de sucre, tant dans les jus qu'au commencement ou à la fin du lavage des écumes. Par contre, ce traitement permet de retirer une grande partie du sucre des écumes. Si ces matières, sans lavage, retenaient encore 4 % de sucre, le traitement par l'eau et la vapeur réduit cette portion à 1,07 de sucre pour 100 d'écumes, ce qui représente une perte de 0,8 de sucre pour 100 de betteraves. Ce résultat est facile à atteindre, au moins pour les parties inférieures des tourteaux. Le haut reste toujours un peu plus riche en sucre, l'eau ayant tendance à imprégner surtout la partie la plus basse.

En tout cas, quel que soit le soin avec lequel on procède au lavage, on ne saurait dans ces conditions arriver à un épuisement complet du sucre. Les tourteaux d'écumes que donnent les filtres-presses sont trop compacts et trop solides pour que l'eau puisse agir sur toutes les particules de l'intérieur de la masse. Aussi, a-t-on essayé dans ces derniers temps, de mélanger les tourteaux retirés des filtres-presses avec de l'eau; (on peut employer à cet effet les eaux de dégraissage du noir). On reprend ensuite cette dissolution sucrée étendue pour la renvoyer une seconde fois aux filtres-presses et séparer le

résidu solide. Si l'on veut être sûr de ne perdre que le moins possible de sucre, il est certain que cette méthode est assez rationnelle:

Stammer a fait également un grand nombre d'essais sur l'élimination du sucre que retiennent les écumes. Parmi les procédés qu'il propose, le plus intéressant est, sans contredit, celui qui consiste à dessécher les tourteaux d'écumes après les avoir divisés, et à les épuiser ensuite par l'eau. De la sorte, on recouvre à peu-près la totalité du sucre sous la forme de jus aussi concentré que possible.

Cette idée de soumettre à une macération complète les résidus, tels qu'ils sortent des filtres-presses, n'a assurément rien que de possible. Toutefois, il me semble que les frais d'installation et de main-d'œuvre qu'entraînent ces épuisements sont moins rémunérateurs qu'ils ne le seraient dans d'autres phases de la fabrication. Les jus qu'on obtient ainsi sont d'ailleurs moins purs que les autres, et on fait bien de les faire passer une seconde fois à la saturation. Du reste, je ne saurais m'empêcher de faire remarquer que les partisans de cette macération des écumes sont précisément les mêmes qui s'étaient si fortement opposés à la macération des résidus des presses dont nous avons parlé en détail dans le premier volume. Or, il est évident, pour quiconque s'occupe de fabrication, que ce dernier travail est notablement plus avantageux que l'autre: la macération des écumes donne au maximum $0^k,2$ de sucre en plus pour 100 k^{os} de betteraves travaillées, tandis que le même traitement, appliqué à la pulpe sortant de la presse, donne au minimum de $0^k,6$ à $0^k,8$ de sucre en plus. Ce simple rapprochement suffira sans doute pour faire apprécier la valeur relative des deux systèmes.

Les jus qui sortent des filtres-presses sont en général impurs, et, en outre, les premiers qui coulent sont toujours troubles; aussi convient-il d'épurer une seconde fois ces jus par une nouvelle saturation avant de les envoyer aux filtres à noir.

A ce propos, et toutes les fois qu'il s'agit de soumettre à une seconde saturation des jus que l'on veut épurer, (je ne

parle pas ici seulement des jus des filtres-presses), je conseillerai de leur ajouter, au lieu de lait de chaux, une dissolution claire de sucrate de chaux. Si, en effet, on prend du jus clarifié sortant de la défécation ordinaire, et qu'on y ajoute une dissolution claire de sucrate de chaux, que l'on chauffe jusqu'à l'ébullition, il se sépare, surtout si l'on a opéré avec des betteraves de mauvaise qualité, une écume abondante et, dans ces conditions, la saturation donne des jus notablement plus purs que si on s'était borné à les traiter, comme d'habitude, par un lait de chaux. Le motif de cette différence me parait tenir à ce que la chaux combinée dans le sucrate se mélange au jus d'une manière plus uniforme, plus rapide et plus intime, que dans le cas où on se borne à verser dans la masse du lait de chaux. Je souhaite que ces quelques lignes puissent décider les fabricants à soumettre à des essais pratiques l'application de ce procédé, et je serais heureux que ces essais pussent être couronnés par la réussite.

J'ai à peine besoin d'ajouter d'ailleurs qu'après toute saturation, il est bon de faire passer le jus à travers les filtres-presses, de façon à séparer autant que possible les impuretés qu'il entraîne, et à le faire arriver aussi pur que possible sur le noir. Il est en effet évident que l'action du noir sera à la fois plus complète et plus persistante, si ses pores ne sont pas obstrués par les matières solides en suspension dans le jus.

Chapitre VIII.

Filtration du jus par le noir.

Si l'on voulait, une fois le jus défèqué et saturé, le concentrer immédiatement jusqu'au point de cristallisation, on n'obtiendrait qu'un rendement très-faible, proportionnel au rapport qui existe entre le sucre et les matières étrangères (sels etc). Ces dernières substances empêchent en effet la cristallisation

d'une quantité de sucre proportionnelle à leur poids. Les expériences faites sur des mélasses paraissent prouver qu'un poids donné de matières étrangères (sels, matières azotées etc.) empêche de cristalliser au moins un poids égal du sucre, (souvent aussi davantage suivant la nature des principes en dissolution). Si nous admettons ce rapport comme point de départ, on obtiendrait les rendements suivants avec des jus de richesses différentes:

Quantité de sucre dans 100 parties solides du jus.	Rendement de 100 parties de masse cuite solide.
75 %	50 %
76 -	52 -
77 -	54 -
78 -	56 -
79 -	58 -
80 -	60 -
81 -	62 -
82 -	64 -
83 -	66 - [1]

Il suffirait donc, pour avoir le rendement de 100 k^{os} de betteraves, de multiplier les taux % de la dernière colonne par la quantité de masse cuite. Ainsi, même en admettant qu'on obtînt 11 % de masse cuite, le rendement en sucre brut varierait entre (11 × 50) = 5,5 % pour les mauvaises qualités et 11 × 60 ou 6,6 %. Pour augmenter ce rendement en sucre et obtenir en même temps des produits de qualité et de nuance meilleures, on a recours à la filtration sur le noir animal. La filtration produit donc une amélioration de rendement, et, pour que cette opération soit avantageuse, il faut que l'amélioration couvre au moins ses dépenses.

1) Ces différents rapports s'observent en réalité pour des betteraves de différentes qualités. On voit dès-lors combien le rendement peut varier suivant la nature des betteraves, sans que ces variations aient leur source dans la fabrication même.

L'emploi du noir animal fut proposé pour la première fois en 1811 par M. Figuier de Montpellier qui avait entrepris des expériences sur les propriétés décolorantes du charbon, propriétés déjà découvertes par Lowitz.

En 1812, Charles Derosne introduisit cet agent dans la fabrication du sucre, et en 1821 Bussy et Payen obtinrent un prix pour leur mémoire sur les propriétés et les actions du charbon.

Dès cette époque, Bussy admettait que la partie active du noir animal était le carbone (dont il évaluait la proportion à 10 %) et qui agissait par sa division très-grande. Il constatait en outre que le noir perdait de son action lorsqu'il était calciné trop fortement, qu'il devenait brillant en perdant de sa porosité. Le pouvoir décolorant du noir augmentait d'ailleurs notablement lorsqu'on le calcinait avec de la potasse.

Payen montrait en même temps que le noir absorbe aussi les matières extractives, que les dissolutions sucrées filtrées sur du noir cristallisent beaucoup plus facilement, enfin que le noir animal possède la propriété d'absorber la chaux des dissolutions avec lesquelles on le met en contact, propriété qui n'appartient à aucun autre charbon.

A l'origine, on attachait la plus grande importance aux propriétés décolorantes du noir, propriétés qui aujourd'hui, et comme nous le verrons plus loin, ne jouent plus qu'un rôle secondaire. D'autre part, si la filtration augmente la proportion de sucre qu'on peut séparer par la cristallisation, c'est, sans contredit, parce que le noir absorbe quelques unes des matières étrangères du jus, telles que les sels et les matières azotées organiques, et qu'il rend ainsi la dissolution plus pure et plus propre à la cristallisation.

La manière dont se comporte le noir par rapport aux sels n'a commencé à être étudiée que très-tard, et on trouvera dans le chapitre suivant le résultat de mes propres travaux à ce sujet. Quelques chimistes se refusent encore aujourd'hui à admettre l'absorption des sels par le noir. Cependant, le bon sens suffit pour indiquer que, si les jus filtrés cristallisent

mieux, c'est qu'ils ont dû perdre quelques unes des matières qui s'opposaient à la cristallisation. D'ailleurs, les essais des divers expérimentateurs le prouvent surabondamment. Ainsi, Michaëlis indique[1] que 100 parties de noir retiennent 0,45 de carbonate de potasse. Schatten a démontré que la force d'absorption du noir pour la chaux et les sels calcaires va en diminuant et disparait enfin d'une manière complète (si on ne débarrasse pas le noir des matières absorbées par des lavages à l'acide chlorhydrique), tandis que le pouvoir décolorant de ces noirs est encore très-considérable.

Michaëlis dit également:[2] "En ce qui concerne l'action du noir de bonne qualité sur les sels de chaux, les expériences prouvent que 100 parties de noir absorbent une quantité de sels calcaires équivalant à 1,6 de carbonate de chaux."

Stammer admet que 17 à 30 % des différents sels que renferme le jus sont absorbés par le noir à la filtration dans le travail en grande d'une usine.

Muspratt (t. I, p. 797) dit: "Graham a trouvé que les matières inorganiques subissent un effet (absorption) analogue, que les oxydes métalliques, notamment ceux de plomb, l'ammoniaque et la potasse, sont séparés de leurs dissolutions.

Si le noir n'enlevait pas aux jus une grande partie des sels, on eût depuis longtemps renoncé à son emploi dans les fabriques, tandis qu'aujourd'hui on le considère comme un agent précieux et même indispensable.

Les jus contiennent principalement, à côté du sucre, des matières azotées, des substances colorantes et des sels. Les matières azotées pourraient à la rigueur être séparées par quelques agents chimiques (tannin etc.); les principes colorants, dont la proportion ne se représenterait jamais que par un chiffre très-faible, pourraient être éliminés en partie par des agents chimiques ou entrainés dans des précipités (par l'alumine etc.); d'ailleurs, il ne faut pas oublier que d'autres variétés de char-

---

1) Journal de l'assoc. des fab. allem. Tome 1er, p. 505.
2) Journ. de l'assoc. des fab. allem. T. 5, p. 257.

bons décolorent beaucoup mieux que le noir d'os. . Ainsi, le noir de sang, par exemple, a une action décolorante de 10 à 20 fois plus forte (Muspratt, tome I, p. 795). Si donc la décoloration était le but essentiel de la filtration, ce serait le sang qu'il faudrait employer comme agent et non le noir d'os. Mais, en réalité, les sels et les alcalis ne sauraient être éliminés des jus par aucun autre des moyens chimiques aujourd'hui connus, et c'est, selon moi, a ce point de vue spécial de l'absorption des sels, que le noir animal a une aussi grande valeur.

Il serait difficile d'évaluer d'une manière précise, en chiffres, la quantité de matières azotées retenues par le noir. Michaëlis, par exemple, indique que sur 0,9 parties d'albumine végétale, la filtration en enlève 0,2; sur 0,5 de légumine, 0,09; soit au maximum $^1/_5$° ou 20 % des matières étrangères que renfermait le jus. Que le noir n'absorbe pas la totalité de ces matières, c'est ce que démontre jusqu'à l'évidence la composition des sirops verts et des eaux mères des masses sucrées où se rassemblent toutes les impuretés. Une analyse de Michaëlis[1] donne, pour 100 parties de cette substance:

Sucre	62,56
Sels	12,44
Principes extractifs et autres . . .	12,49
Eau	12,51
	100,00.

Ce sont donc là les quantités de sels et de principes extractifs que le noir n'avait pu absorber à la filtration. Ces chiffres prouvent d'ailleurs que, pour réduire la proportion des mélasses, c'est surtout au travail des filtres qu'il faut s'attacher avec le plus de soin.

Quoiqu'il en soit, l'action épurante du noir animal ne tarda pas à être appréciée d'une manière générale et la pratique s'en empara. Mais, au début, on n'employait le noir qu'à l'état de poudre fine qu'on faisait bouillir avec la dissolution sucrée. De la sorte, on perdait tout moyen de revivifier

1) Journ. de l'assoc. des fab. allem. T. 5, p. 250.

cette matière et de l'utiliser à nouveau. Il fallait donc chaque fois employer du noir neuf, malgré son prix élevé, et porter en dépense chaque fois le prix total du noir épuisé.

Aussi, essaya-t-on, en 1828, d'employer le noir à l'état de grains. Dumont introduisit l'emploi de petites caisses remplies de noir, et c'est à lui quon doit en réalité la filtration et le mode économique et efficace de fabrication qui en résulte. Il fit voir, le premier, que le noir pouvait être débarrassé au moins en partie des matières étrangères qu'il enlevait aux jus, qu'il pouvait être *revivifié* et par suite réemployé en très-grandes quantités.

Depuis, on n'a fait qu'étendre son idée de la filtration, perfectionner son mode de revivification du noir.

Aujourd'hui, au lieu des petites caisses ou filtres de Dumont, on emploie des cylindres en tôle, de grandes dimensions, dont le diamètre varie de $0^m,45$ à $0^m,90$, la hauteur de 3^m à 6^m, et dont la fig. 138 indique la disposition.

Le cylindre *a* est fermé, en bas par un fond *b*, en haut par un couvercle *c* dans lequel est ménagé un trou d'homme *d*. Ce dernier peut être hermétiquement fermé par le tampon *d'* et l'écrou *e*. Le joint est d'ailleurs complété par une feuille de caoutchouc intercalée. Le noir est introduit par ce trou d'homme dans le cylindre muni intérieurement d'un grillage *e* et on remplit entièrement le filtre. En bas et sur le côté, immédiatement au-dessus du grillage *e*, se trouve une seconde ouverture *f* par laquelle on peut retirer le noir après qu'il a servi et qu'on l'a soumis au dégraissage. La même ouverture permet de retirer le grillage *e* qui est en plusieurs morceaux et de le remettre en place après nettoyage.

Le tuyau d'amenée du jus, comme ceux de vapeur et d'eau, arrive en haut et se termine par un coude au-dessous du couvercle *c*. De la sorte, les liquides se divisent et se répartissent aussi également que possible sur toute la surface du noir. Le tuyau recourbé *g* est en communication par le tuyau *i* avec le réservoir des jus *h* placé au-dessus des filtres. Le jus arrive donc sur le noir avec une certaine pression qui détermine une

Fig. 138.

division complète du liquide à filtrer. Sur le même tuyau *i* viennent se brancher d'autres tuyaux munis de robinets *p* et *q* qui amènent, l'un la vapeur, l'autre l'eau, de sorte que l'on peut à volonté envoyer la vapeur dans les filtres, les dégraisser ou filtrer des jus.

Le petit robinet *k* sert pour assurer l'échappement de l'air. Il est bon de mettre à la suite un petit tuyau *d* recourbé qui plonge à la partie supérieure dans le réservoir des jus. De la sorte, l'air conserve toujours un passage d'échappement sans que la régularité de la filtration se trouve génée.

Le robinet inférieur *m* placé au point le plus bas du filtre sert pour l'écoulement de l'eau, tandis que le tuyau *n* conduit les jus, soit directement aux appareils d'évaporation, soit par le robinet *n'* dans la rigole *n''* d'où ils passent aux appareils.

Les filtres dont nous venons de donner la description exigent pour leur service des ouvriers attentifs et, par suite de leur tuyauterie et du grand nombre de robinets qu'ils comportent, leur installation est assez coûteuse et leurs frais d'entretien assez élevés. Dans ces dernières années toutefois, on y a apporté une simplification très-heureuse en remplaçant tous les robinets par une boite à soupapes unique que l'on dispose près de chaque filtre à la partie supérieure et dont les figures 139 et 140 représentent à grande échelle la coupe et la vue d'ensemble.

Le raccord *g* débouche dans l'intérieur du filtre, tandis que les brides *a, b, c, d, e* communiquent respectivement avec les tuyaux de la vapeur, de l'eau, des jus et des sirops. Il suffit, à l'aide du volant mobile *h*, d'agir sur les tiges des soupapes *a b c d*, pour régler à volonté la circulation des liquides et l'importance du débit.

La fig. 141 représente une réunion ou batterie de 3 filtres. On emploie d'habitude cette disposition pour faire remonter les jus, c'est-à-dire pour faire passer le jus filtré d'un premier filtre dans le suivant où il subit une 2e filtration, puis par un nouveau tuyau dans le 3e appareil où il rencontre de nouvelles couches de noir. De la sorte, on met le jus en contact avec

Fig. 139.

Fig. 140.

Fig. 141.

une très-grande quantité de noir, et on peut pousser son épuration aussi loin que le permettent les propriétés absorbantes du noir.

Dans ce cas, un tuyau conduit le jus à la sortie du dernier filtre directement aux appareils d'évaporation, ou bien l'on dispose vers le haut du cylindre une rigole *n''* dans laquelle coulent, soit les jus, soit les sirops. Cette rigole est établie assez haut pour qu'on soit sûr que les filtres sont complètement pleins et que l'écoulement s'arrête, conformément aux lois de l'équilibre, dès que le liquide n'est plus dans le filtre à la même hauteur.

Le tuyau de sortie des liquides devrait toujours, comme l'indique la figure 141, partir du point le plus bas du filtre et du milieu du fond. Sans cela, le jus tend à traverser le filtre sur un côté seulement et le noir se trouve mal utilisé. Cet inconvénient est surtout sensible pour les filtres ouverts, où les liquides circulent sans pression. On peut s'en assurer en emplissant un filtre de noir neuf sans y mettre la vapeur, et laissant couler immédiatement dessus le jus chaud. Le côté sur lequel se trouve la tubulure de sortie s'échauffe bien plus vite que le reste de la surface. Le jus coule donc le long de cette paroi en plus grande quantité et avec une plus grande vitesse qu'en tout autre point.

Pour ce qui est de la grandeur des filtres, on leur donne dans beaucoup d'établissements les mêmes dimensions, qu'on ait à travailler par jour 50,000 ou 150,000 k^{os} de betteraves.

Cette méthode d'installations toujours identiques et pour ainsi dire stéréotypées ne me parait point très-rationnelle et il me semblerait plutôt nécessaire d'observer une certaine relation entre la quantité de betteraves mises en œuvre journellement et la contenance des filtres.

Les données d'après lesquelles on devrait établir la grandeur des filtres pourraient être les suivantes: 50,000 k^{os} de betteraves donnent par 24 heures 45,000 k^{os} de jus, soit par heure 2,000 k^{os}. Si le jus devait rester pendant une heure en contact avec le noir, la capacité d'un filtre devrait être suffi-

sante pour contenir dans les interstices du noir précisément ces 2000 k^os^ de jus. De la sorte, le jus, après avoir séjourné une heure dans le filtre, serait remplacé par celui de l'heure suivante. Or, on emploie d'habitude pour 100 k^os^ de betteraves 20 % de noir, soit pour 100 de jus 22 de noir qui sert pour la filtration tant des jus que des sirops. Admettons que, pour le jus seul, on emploie 12 % de noir; cette quantité représentera pour 50,000 k^os^ de betteraves 6,000 k^os^ de noir par jour.

D'autre part, dans un filtre, le noir ne laisse qu'un vide assez faible, et, pour le remplir, il suffit d'une quantité de jus représentant 55 à 60 % du poids du noir. Donc, un filtre capable de recevoir 2000 k^os^ de jus devrait contenir 3,300 k^os^ de noir, d'après la proportion $\frac{x}{2000} = \frac{100}{60}$. D'un autre côté, le décimètre cube de noir pèse environ 1 k^o^; chaque filtre devrait donc avoir comme volume 3^mc^,300. Enfin, comme la filtration des jus exige par jour 6,000 k^os^ de noir, il faudrait à peu près deux filtres par jour, c'est-à-dire qu'on devrait maintenir chaque filtre en service 12 heures.

Si le jus ne devait séjourner qu'une demi-heure à la filtration, les 1000 k^os^ de jus correspondant à ce laps de temps n'exigeraient, d'après la proportion précédente, que 1,500 k^os^ de noir soit 1^mc^,50 par filtre environ, ce qui me parait une dimension très-rationnelle, d'autant mieux qu'on peut, si on le veut, laisser le jus en contact une heure ou une heure et demie avec le noir en le faisant passer successivement sur 2 ou 3 filtres semblables. Dans le dernier cas, il faudrait $\frac{6000}{1,500}$ soit 4 filtres par 24 heures, chacun d'eux ne serait donc en service que 6 heures. Cette organisation du travail donne, comme nous le montrerons plus loin, des jus incontestablement meilleurs et plus purs que la filtration simple, même prolongée plus longtemps. D'un autre côté, si 6,000 k^os^ de noir (12 % de la betterave) ne suffisaient pas pour produire une épuration convenable, on n'aurait qu'à réduire la durée du service des filtres, à faire par exemple 6 chargements par jour au lieu de 4.

Le principe de proportionner la capacité des filtres à l'importance des quantités de jus produites journellement se justifie d'ailleurs à tous les points de vue. Il suffit d'une étude attentive de la fabrication et de ses phases successives pour se convaincre que les jus doivent passer aussi vite que possible par les diverses périodes du traitement, tout en y restant un temps suffisant pour que le travail puisse se faire. Or, si on prend les mêmes filtres pour travailler 50,000 k^{os} que pour 100,000 (et cela existe dans beaucoup de fabriques), il faudra 2 fois plus de temps dans le premier cas que dans le second pour emplir chaque filtre. Les jus resteront donc 2 fois plus longtemps à cette station. Aussi, dans les petites fabriques qui souvent ont des filtres énormes, c'est là incontestablement la cause des altérations et des fermentations qui se produisent dans les mauvaises années, soit sur les jus, soit surtout sur les eaux de dégraissage, et qui correspondent souvent à des pertes de 1% de sucre. Dans ces conditions défavorables, les jus restent en effet souvent des jours entiers entre le moment de l'extraction et celui où ils arrivent à l'état de masse cuite. C'est également en partie pour la même raison que les grandes fabriques ont des rendements meilleurs que les petites: elles travaillent d'une manière plus rapide et plus rationnelle, les jus ne séjournent pas assez longtemps pour se refroidir, et, restant chauds, ils arrivent sans altération aux appareils de cuite. Suivant les vieux praticiens, "trop filtrer rend le sucre faible et sans nerf"; pour les théoriciens purs c'est là un préjugé sans fondement, mais, pour ma part, je suis assez disposé à croire que l'expérience pratique renferme toujours son grain de vérité, et surtout dans le cas actuel. En filtrant beaucoup un jus chargé de chaux comme ceux que donne la saturation, notamment en le laissant longtemps dans de grands filtres, il est indiscutable qu'il s'altère. Il a d'autant plus de tendance à subir la fermentation visqueuse qu'il arrive à la filtration plus neutre ou avec un plus faible excès de chaux. Du reste, nous avons tous vu réduire la dimension des filtres lorsque l'emploi de l'acide carbonique s'est introduit dans les fabriques, et c'est une démonstration pratique de la théorie qui précède.

En proportionnant la capacité des filtres à la quantité de jus que l'on travaille, on se met à l'abri des inconvénients signalés plus haut. Je suis convaincu que, même dans de petites fabriques, en se conformant aux règles pratiques qui viennent d'être indiquées, il est possible d'épurer le jus dans d'aussi bonnes conditions que dans les grands établissements. En même temps, on y trouve l'avantage d'une installation plus économique, d'un travail mieux réparti, mieux réglé et plus uniforme. Le dégraissage dure moins de temps qu'avec de grands appareils et, comme la durée du service des filtres est proportionnelle à leur capacité, on obtient les eaux de dégraissage à des intervalles moins éloignés, et en plus petite quantité. Leur travail se fait donc plus rapidement et plus également dans les appareils d'évaporation souvent restreints dont on dispose.

J'ai cru devoir m'étendre un peu longuement sur cette question particulière de la dimension des filtres, parce qu'à ma connaissance aucun calcul analogue n'a encore été fait, ou du moins n'a encore été publié. Il est bien entendu d'ailleurs que je n'ai pas entendu poser de chiffres absolus, ni prétendre que la capacité des filtres ne devait jamais dépasser $1^{m},50$ par 50,000 k^{os} de betteraves travaillées journellement. J'ai seulement voulu mettre en garde contre les dimensions exagérées de ces appareils. Les filtres ne sauraient que bien rarement être trop petits. Quand même la capacité de chacun d'eux ne serait que de $0^{mc},75$, en faisant passer le liquide sur quatre appareils successifs, on obtiendrait encore de très-beaux résultats. Du reste, le fabricant reste entièrement libre d'emplir ou de vider ses filtres aussi souvent qu'il le juge convenable. En résumé, plus les filtres sont petits, et plus le travail est régulier, plus les jus rencontrent de noir neuf, plus le volume des eaux de dégraissage est réduit chaque fois, mieux enfin on utilise le noir. Il n'y a donc aucune raison qui justifie l'emploi de grands filtres, même si l'on veut augmenter la proportion de noir. Il vaut mieux, dans ce cas, réduire la durée du service de chaque appareil et charger plus souvent. — Des essais en grand m'ont

démontré que des fabriques, même avec des filtres très-petits (0^{mc},350), travaillent encore très-bien et souvent mieux que les établissements munis d'appareils infiniment plus grands.

Ce serait ici le lieu de rappeler que la forme même des filtres exerce sur le travail une certaine influence, que la hauteur n'est pas chose indifférente. Je pense par mes essais avoir mis hors de doute qu'une couche de noir de forte hauteur, sur un petit diamètre, agit beaucoup mieux sur les jus que la même quantité disposée sur une faible épaisseur. On devrait donc toujours donner aux filtres, comme hauteur, au moins dix fois leur diamètre.

Une hauteur plus grande encore serait souvent peu pratique ou irréalisable (par suite des bâtiments etc.), bien qu'elle fût avantageuse. Dans ce cas, on tourne la difficulté en faisant repasser le jus sur 2 ou 3 filtres successifs, de façon à donner à la couche de noir telle hauteur que l'on veut, sans être conduit à des dimensions exagérées pour chaque appareil. Ainsi, avec 3 filtres, la hauteur de la charge est trente fois son diamètre.

L'action plus efficace du noir lorsqu'il est sur une forte hauteur parait tenir à ce que les couches supérieures du filtre absorbent les principes du jus les plus faciles à éliminer. Les liquides arrivent ainsi sur les couches suivantes de noir frais déjà épurées et achèvent de se purifier au contact de la matière filtrante dont la force d'absorption est encore complète. C'est donc à la partie supérieure des filtres que doivent rester les plus fortes impuretés, les matières colorantes brunes par exemple. Le jus, après avoir traversé la 1^{e} couche, ne sera plus que d'un jaune peu foncé; en passant à travers la 2^{e} couche il perd encore une partie de ses principes colorants et doit paraitre faiblement jaunâtre. Enfin, la couche inférieure du noir doit avoir encore toute son énergie pour achever la décoloration du liquide. Si cette manière de voir est exacte, l'effet doit être d'autant plus sensible que la hauteur des filtres est plus grande par rapport au diamètre. Du reste, si au lieu de supposer un seul filtre partagé par la pensée en trois parties, on examine

ce qui se passe dans le cas de trois fitres successifs, il est facile de s'assurer que le jus sort foncé du 1^er^, plus clair du second, et enfin décoloré du 3^e^. Ce fait justifie donc par lui-même la filtration sur plusieurs appareils.

Bien que, pour les liquides sucrés, la nuance soit loin d'être un indice exact de la valeur ou de la faculté de cristallisation, j'ai pris néanmoins la couleur comme exemple pour faire une démonstration sensible à l'œil, mais il est certain que toutes les autres matières étrangères du jus sont absorbées par le noir suivant la même loi que les principes colorants. Pour une même quantité de noir, pour une même durée de filtration, on retirera de 100 parties de jus plus de sucre cristallisable si on augmente la hauteur du noir. Ainsi, avec un filtre dont la hauteur était 12 fois le diamètre: j'ai obtenu jusqu'à 84,8 de sucre sur 100 de matières solides, tandis qu'avec des jus identiques, travaillés de la même manière mais passant sur un filtre dont la hauteur était égale au diamètre, je n'ai plus trouvé que 84 % de sucre. On obtenait donc dans le 1^er^ cas 0,8 % de sucre en plus par le simple effet de la forme du filte, ce qui prouve bien que l'influence due à cette cause n'est pas négligeable. L'absorption de chaux était la même dans les deux cas, la décoloration plus marquée pour le filtre le plus haut.

Après avoir traité plus haut l'influence de la forme et de la capacité des filtres sur le travail des jus étendus, il convient d'étudier maintenant les conditions que doivent remplir les filtres pour les sirops. Les jus de betteraves sont d'habitude filtrés 2 fois: d'abord à l'état de jus, la 2^e^ fois à un état de concentration plus grand et après évapóration. Les sirops ont perdu par l'évaporation une grande partie de leur eau. Ainsi, pour un travail journalier de 50,000 k^os^ de betteraves ou 45,000 k^os^ de jus, on ne doit compter que sur 9,000 k^os^ de sirop à 50 %, soit 375 k^os^ de sirop par heure. Si cette quantité doit rester en contact avec le noir pendant une heure, elle peut remplir les vides de 625 k^os^ de noir $\left(375 \times \frac{100}{60}\right)$. La capacité du

filtre doit donc être de $0^{mc},600$, soit notablement moins que la capacité des filtres destinés au jus. Toutefois, il faut remarquer ici que les sirops ont beaucoup moins de tendance à s'altérer que les jus, et que, par suite, ils peuvent rester un peu plus longtemps dans les filtres. Aussi, travaille-t-on souvent les jus et les sirops dans les mêmes filtres, mais, c'est un tort, et la différence que nous signalons prouve le peu d'attention qu'on prête en général aux calculs même les plus élémentaires lorsqu'on installe une fabrique.

Lorsque les jus doivent passer successivement sur 3 filtres, il suffit que l'installation comporte 5 de ces appareils, l'un d'eux se trouvant dans la période de dégraissage ou se vidant pendant qu'on emplit l'autre. — Ce nombre d'appareils devrait être le même dans toutes les fabriques grandes ou petites, les dimensions seules variant suivant l'importance des quantités mises en œuvre.

Pour la filtration des sirops, 2 appareils suffiraient amplement, l'un se dégraissant ou se vidant pendant que l'autre s'emplit. Si on employait des appareils plus petits, leur nombre pourrait être fixé à quatre. — Les fabriques dans lesquelles le jus passe successivement sur plusieurs filtres devraient donc avoir en tout neuf appareils, tandis que quatre suffisent à la rigueur pour la filtration simple, savoir: 1 pour les sirops, 1 pour les jus, 1 pour les eaux de dégraissage tandis qu'on change le noir dans le 4e. Mais l'économie qu'on peut réaliser ainsi est loin de couvrir la perte qu'on éprouve sur le rendement en sucre cristallisable, et, à ce titre, ces installations trop restreintes ne sauraient être recommandées.

Autrefois, tous les filtres étaient ouverts à la partie supérieure et les appareils de cette nature sont encore aujourd'hui très-répandus en France et en Russie. Avec les filtres ouverts, la hauteur de la couche filtrante est forcément limitée, a moins qu'on ne recoure à l'emploi peu rationnel des pompes ou des monte-jus. C'est donc un désavantage réel pour les fabriques installées de la sorte. La filtration s'opère d'ailleurs ainsi dans de mauvaises conditions: quand nous lavons le noir à la vapeur

dans le filtre, nous cherchons à expulser l'ammoniaque et les gaz de toute nature que le noir tend à retenir. Or, dans les filtres ouverts, qui empêche le noir d'absorber de nouveau les vapeurs ammoniacales expulsées avec tant de peine? Dans les filtres fermés, au contraire, l'ammoniaque s'échappe à l'air libre par un tuyau spécial, et comme, après le traitement à la vapeur, tout reste fermé, le noir ne peut se trouver en contact qu'avec le jus sucré.

D'autre part, c'est un fait bien connu, que le noir animal possède à un très-haut degré la propriété d'exciter et de faire naître la fermentation dans les liquides sucrés. Ainsi, pour faire rapidement fermenter de la mélasse, il suffit de l'agiter avec du noir à une température de 20 ou 25°. La fermentation commence souvent en deux ou trois heures, et la cause en est probablement que le liquide sucré se trouve en contact intime dans les pores du noir avec de l'air.

Or, quand nous mettons en présence, dans un filtre métallique ouvert, du noir et des jus, comment pourrions-nous échapper à la fermentation (qui, comme on le sait, a une très-grande tendance à se produire sous la forme lactique à une température élevée)?

A mon avis, la propriété du noir d'exciter à l'air libre la décomposition des liquides sucrés est un point dont on ne saurait tenir trop grand compte quand on procède à la filtration dans des appareils ouverts, et la durée du travail est une des causes pour lesquelles les eaux de dégraissage, si facilement décomposables, ont souvent une réaction acide. Cet inconvénient suffirait à lui seul pour motiver l'emploi des filtres fermés qui, à une température élevée et avec des dimensions convenables, offrent des garanties sérieuses contre la fermentation.

D'autre part, les filtres fermés, dont notre industrie est redevable à Hecker de Stassfurth, permettent d'éviter tout débordement du liquide; ils offrent l'avantage de se maintenir constamment pleins et de n'exiger que peu de main-d'œuvre.

Si la capacité, la forme et la disposition des filtres ont une certaine influence, la qualité du noir que l'on emploie joue

un rôle encore beaucoup plus important, car c'est d'elle que dépend essentiellement le succès du travail.

Les caractères pratiques et simples d'un bon noir sont sa couleur, sa porosité, sa teneur en chaux normale sans être trop élevée, et son faible poids spécifique.

Tous les noirs de bonne qualité sont d'un noir mat. Cette couleur tient à leur porosité, car le noir ne devient brillant que si une partie plus ou moins considérable de ses pores s'est bouchée, et si, par suite, l'activité du noir qui est proportionnelle à la surface de ces pores a diminué dans une certaine mesure. L'aspect brillant d'un noir ne saurait donc jamais être l'indice d'une bonne qualité. Cet aspect est d'ailleurs très-facile à obtenir artificiellement, par exemple, en revivifiant les noirs vieux par de la mélasse.

La coloration grise ou blanchâtre de certains noirs est due à une calcination trop forte en présence de matières étrangères qui ont subi une action de fusion, ou à une teneur en chaux trop considérable. Les noirs qui ont cette apparence possèdent rarement les qualités recherchées pour la fabrication.

La porosité du noir ou la division aussi complète que possible du charbon parait avoir une importance toute spéciale. Les charbons trop compacts n'agissent pour ainsi dire pas. — D'autre part, les os calcinés à blanc, qui ont la même porosité que le noir mais ne contiennent pas de carbone, ne produisent aucun effet. Au bout d'un certain temps de service, le noir se recouvre d'une couche de matières étrangères qui, dans la calcination, fondent ou se carbonisent et obstruent les pores extérieurs.

Aussi, M. Kuhlmann a-t-il proposé, il y a déjà longues années, de broyer ou de briser le noir revivifié de façon à lui reconstituer des surfaces poreuses et actives.

La porosité du noir se reconnait à un deuxième caractère pratique: il doit happer à la langue. Plus ce caractère est marqué et plus le noir a de valeur.

Lorsque le noir est peu poreux, c'est qu'il a absorbé une forte proportion de matières étrangères; par suite, son poids spécifique doit avoir augmenté. La détermination de ce poids

spécifique fournit donc un moyen de contrôle très-simple, puisqu'il suffit de peser un certain volume de noir, un litre par exemple. Son poids, qui doit varier entre 700 et 1100 gr. indique immédiatement de combien le noir essayé est plus lourd que le noir neuf, et par suite dans quel rapport sont leurs valeurs. Il va de soi que cette comparaison suppose que les noirs aient le même grain et le même degré d'humidité. Ce mode de contrôle n'est donc pas absolument exact, mais il est très-pratique et très-employé.

Le moyen le plus simple pour indiquer la grosseur du grain de divers noirs consiste à donner le nombre des mailles des cribles par unité de surface. Des cribles à 350 et 175 mailles par décimètre carré forment, par exemple, les limites entre lesquelles doit être compris un grain de grosseur convenable.

Lorsqu'un noir contient plus de chaux que n'en renferme normalement du noir neuf, ses pores se trouvent en partie bouchés, sa capacité d'absorption pour la chaux et les autres matières étrangères diminuée: cependant, ce même noir parait conserver un pouvoir décolorant tout aussi considérable qu'avant. L'action décolorante ne saurait donc être prise comme mesure de la valeur.

D'après Muspratt, on peut exprimer par les chiffres suivants l'action décolorante des divers corps sur les sirops:

Nature du charbon. — Echantillon d'un gramme.	Sirop d'essai décoloré.	Pouvoir décolorant relatif sur le sirop.
Noir animal ordinaire	0,009	1
Noir animal traité par l'acide chlorhydrique . . .	0,015	1,6
Noir animal calciné avec du carbonate de potasse .	0,18	20
Sang calciné avec du carbonate de potasse	0,18	20
Sang calciné avec de la craie	0,10	11
Sang calciné avec du phosphate de chaux	0,9	10
Albumine calcinée avec du carbonate de potasse . .	0,14	15,5
Gluten calciné avec du carbonate de potasse . . .	0,14	15,5
Noix de pin calcinée avec du carbonate de potasse .	0,09	10,6
Huile calcinée avec du phosphate de chaux	0,017	1,9

J'ajouterai que le noir fermenté avec de la mélasse et calciné avec de la potasse possède un pouvoir décolorant considérable. Néanmoins, les jus traités avec ce noir ne donnent, malgré leur transparence, que des masses cuites glaireuses et de mauvaise qualité.

Si la décoloration était le but principal du travail des filtres, il vaudrait beaucoup mieux, par exemple, employer le sang calciné, dont le pouvoir décolorant est 10 ou 20 fois plus fort. Si l'on continue malgré cela à faire usage du noir animal, c'est qu'évidemment il possède une propriété spéciale, celle d'élever à un haut degré la propriété de cristallisation des liquides sucrés.

On peut colorer un grand volume de dissolution sucrée avec du caramel ou de l'outremer, de façon à lui donner une nuance très-foncée; on en retirera néanmoins tout autant de sucre que si la dissolution était restée incolore. C'est que les matières colorantes, si sensibles qu'elles soient à l'œil, ne forment qu'une minime parties des matières étrangères du jus. Cette petite quantité de matières colorantes enlevée, la dissolution peut encore renfermer 100 fois plus de principes incolores mais qui s'opposent à la cristallisation.

Quel est le fabricant auquel il n'est pas arrivé, avec des jus parfaitement incolores à la filtration, d'obtenir des masses cuites colorées, muqueuses et ne rendant que peu de sucre. Au contraire, des jus qui paraissent encore jaunâtres après la filtration donnent souvent des masses cuites cristallisant beaucoup mieux.

Tout ce qui précède prouve donc que la décoloration des jus n'est pas un indice assuré de la séparation des matières étrangères que renfermaient ces jus.

M. Corenwinder a proposé de mesurer la qualité des noirs d'après le pouvoir qu'ils possèdent de séparer la chaux de ses dissolutions.

A mon avis, ce ne serait pas encore là une mesure exacte de la valeur des noirs, attendu que, dans l'état actuel de l'industrie, c'est par l'acide carbonique beaucoup plus que par le

noir qu'on élimine la chaux. La petite quantité de chaux qui reste après la saturation pourrait d'ailleurs s'enlever plus rationnellement, soit par l'acide phosphorique, soit par tout autre agent non nuisible. Le noir ne joue donc dans l'élimination de la chaux qu'un rôle tout au plus accessoire, et dès-lors cette propriété ne pourrait donner la mesure de ses qualités.

Ainsi, de tous les moyens énumérés plus haut, aucun ne constitue un étalon exact de la qualité d'un noir ou de son action sur les jus; où donc trouver cette unité de mesure?

On sait que, dans un jus, sur 100 parties de matières solides, la quantité de sucre qu'on peut extraire dépend de la quantité des matières étrangères solides qui accompagnent le sucre dans la dissolution. Ces matières empêchent de cristalliser un poids de sucre proportionnel au leur en donnant lieu à la formation des mélasses; or, le noir jouit de la propriété précieuse d'absorber en proportion plus ou moins forte ces matières et par suite d'augmenter du double de cette proportion le rendement en sucre cristallisable de la matière travaillée. — La filtration a donc incontestablement pour but principal de débarrasser les dissolutions sucrées de ces principes étrangers nuisibles.

Le meilleur noir pour la fabrication sera dès-lors celui qui absorbera le plus de ces éléments étrangers.

Il faut donc, pour évaluer la qualité d'un noir, déterminer sur les produits de la filtration la quantité d'éléments étrangers que le noir a absorbés. — Or, c'est heureusement là un problème très-facile, car on peut doser la quantité des matières étrangères par la différence entre les indications de l'aréomètre de Brix et le taux % réel de sucre que fournit le polarimètre.

Cette différence, ou ce rapport du sucre à la quantité totale des matières solides du jus, s'exprime d'habitude en taux %, en représentant par 100 la quantité de matières solides accusée par l'aréomètre. Le chiffre qui indique le rapport du sucre aux matières solides sera donc plus ou moins élevé suivant que le jus sera plus ou moins pur. Les chiffres que fournit l'aréomètre de Brix ne concordent pas exactement, il

est vrai, comme nous l'avons déjà remarqué, avec la teneur réelle du jus en matières solides, mais cela ne fait rien à la chose, puisqu'on peut de la sorte avoir des chiffres qui expriment, sous forme de rapport, l'épuration du jus dans son passage sur les filtres.

Supposons par exemple qu'un jus accuse avant la filtration 15 % Balling et 12 % de sucre. Cela veut dire que, sur 100 parties solides, il renferme 80 parties de sucre. Le même jus, après filtration, donne 14 % Balling pour 12 % de sucre: il est clair que le rapport du sucre aux matières solides est maintenant $\frac{12}{14}$ ou 85,7 %. Si donc on néglige la correction de la teneur apparente à la teneur réelle, l'effet de la filtration ou l'effet dû à la qualité du noir est mesuré par ce fait que sur 100 parties de matières solides le jus renferme 85,7—80 ou 5,7 parties de sucre de plus qu'avant, et qu'une quantité correspondante de matières étrangères a été éliminée. On voit donc que l'emploi simultané de l'aréomètre de Brix et du polarimètre constitue le seul contrôle réel de l'action du noir.

On peut du reste simplifier notablement ces recherches en ramenant les jus à la densité 1,100 qui correspond à la solution normale de Ventzke. Dans le cas où l'on fait usage du polarimètre de Duboscq, on doit prendre naturellement comme solution normale celle qui contient 16^{gr},35 de sucre pour 100 cent. cubes. M. Lenoir de Vienne fournit ces dissolutions toutes préparées et avec une exactitude scrupuleuse dans le titre.

L'instrument polarimétrique de Ventzke marque comme on le sait 100 dans une dissolution de sucre pur de densité 1,100. De même, une dissolution de sucre pur à la densité de 1,067 accuse avec le polarimètre de Duboscq 100 degrés. Une dissolution impure aux mêmes densités marquera avec chaque appareil d'autant moins de degrés qu'elle renfermera moins de sucre. Ainsi, un jus saturé marquera par exemple de 79 à 83 sur 100 de matières solides. Le chiffre trouvé de la sorte permet d'ailleurs de déterminer en même temps à priori le rendement pratique de 100 parties de masse cuite.

Toutefois, je dois faire remarquer que la densité 1,100 qui correspond à 23,8 % Balling est en général peu commode pour le fabricant qui se trouve forcé de concentrer ses jus d'échantillon, opération toujours assez longue. Aussi ai-je fait construire un aréomètre correspondant à la moitié de cette concentration, c'est-à-dire à 11,9 % Balling (Les dissolutions de sucre pur marquent à cette densité 50° au polarimètre). Cette graduation est plus commode, en ce que tous les jus en fabrication ont au moins cette densité et qu'il suffit d'étendre les dissolutions plus concentrées avant l'essai. Schmidt à Berlin et Lenoir à Vienne construisent ces instruments. Il suffit de multiplier par 2 les indications du polarimètre sur ces dissolutions, pour les faire concorder avec celles que donnerait le liquide à la densité 1,1.

Certains noirs augmentent de 5 % et plus la teneur en sucre des dissolutions impures rapportée à 100 de matières solides: la dépense du travail se trouve ainsi largement couverte. Mais on trouve des noirs mal revivifiés qui n'exercent pour ainsi dire aucune action et laissent le jus couler des filtres aussi chargé de matières étrangères qu'à son entrée dans les appareils. C'est donc pour la filtration une condition essentielle que le noir conserve toujours son pouvoir absorbant et qu'on lui restitue cette propriété, qu'on le revivifie, après qu'il a servi. Il est du reste facile de s'assurer, même quand le noir est déjà dans le filtre, qu'il est bien pur ou du moins qu'il ne cèdera aucune matière aux jus comme cela arrive dans certaines circonstances. En lavant le noir dans le filtre avec de l'eau chaude pure, provenant de la condensation de la vapeur, on enlève très-souvent au noir revivifié quelques principes qu'on peut retrouver dans l'eau, soit par les réactifs, soit par l'évaporation. — Il est évident que le noir doit mieux agir lorsqu'il est ainsi complètement purifié, et, à ce titre, il conviendrait de ne jamais négliger dans la pratique ces lavages à l'eau chaude répétés au moins trois fois; très-souvent ils sont nécessaires, et en aucun cas ils ne sauraient être nuisibles. — Les noirs neufs eux-mêmes, qui en général n'ont pas une action

très-marquée la première fois qu'on les emploie, se trouvent notablement améliorés par un lavage analogue répété 5 ou 6 fois. En lavant de même le noir dans les filtres après qu'il a servi, on augmente immédiatement d'une manière très-sensible son pouvoir décolorant. Ce fait mérite une attention spéciale en ce qu'il prouve bien que le pouvoir décolorant ne saurait être pris comme la mesure exacte de la valeur d'un noir.

Le traitement préliminaire du noir par la vapeur dans les filtres augmente également l'action de cet agent sur les dissolutions sucrées. Les pores du noir sont en effet, dans les conditions habituelles, remplis d'air qui empêche les liquides d'arriver en contact intime avec la surface épurante. En expulsant l'air, la vapeur assure ce contact du liquide avec toutes les particules. En outre, elle chasse l'ammoniaque qui, d'après Ventzke, exerce une action très-nuisible, et pour laquelle le noir a une affinité très-marquée, car il peut absorber 70 fois son volume de gaz ammoniac. — C'est une des raisons qui militent puissamment en faveur des filtres fermés. Ces appareils empêchent en effet le noir d'absorber à nouveau, après l'action de la vapeur, l'ammoniaque dont l'atmosphère des fabriques est toujours saturée.

C'est aussi pour ce motif que le noir introduit dans les filtres immédiatement à la sortie du four à revivifier est toujours préférable à celui qui a séjourné un certain temps à l'air libre et a pu de la sorte se saturer de gaz de toute nature.

L'état de division plus ou moins considérable du noir exerce une grande influence sur son action. Si l'on observe que ce noir agit en effet principalement par sa surface et qu'un centimètre cube présente une surface absorbante de 50 décimètres carrés au minimum, il est clair que, plus la surface se trouvera accrue par la division, plus l'effet sera énergique. 5 % de farine de noir exercent le même effet que 20 % de grain. Il est donc rationnel d'employer le noir aussi divisé que le permet la pratique. Du reste, même dans le courant de la campagne, quand on ne veut pas briser immédiatement le grain trop gros, il est facile d'augmenter momentanément l'effet de la

filtration, en ajoutant dans les filtres au noir en grains un peu de farine de noir. Il convient toutefois de limiter cette addition à une proportion telle que le travail des filtres ne devienne pas trop pénible.

La température à laquelle se trouvent le noir et les liquides à filtrer lorsqu'on les met en contact a une importance spéciale. Le noir est en effet d'autant plus actif que sa température est plus élevée. Le jus, arrivant dans les filtres à une température voisine du point d'ébullition, ne devrait donc jamais sortir des appareils au-dessous de 75°. Aussi, a-t-on soin d'habitude d'entourer les filtres de corps mauvais conducteurs. Quelquefois même on dispose autour des appareils une enveloppe de vapeur, de manière à les maintenir constamment à une température élevée.

Nous avons vu que la qualité du noir était une question essentielle; la quantité employée n'exerce pas une moindre influence sur les résultats du travail. Quelques essais pratiques m'ont conduit à cet égard aux résultats suivants:

Poids de noir employé pour 100 parties de jus.	Quantité de sucre contenue dans 100 parties de matières solides du jus.		Décoloration.	Degré alcalinité du jus filtré, en représentant par 100 l'alcalinité du jus non filtré.
	avant filtration.	après filtration.		
10 %	80	81,4	18	52 %
20 %	80	81,8	22	60 %
30 %	80	82,9	32	57 %
40 %	80	84,0	38	46 %
50 %	80	84,6	66	43 %

Ces chiffres prouvent d'une façon péremptoire que l'effet du noir augmente avec la quantité employée. Le fabricant intelligent a donc, en tenant compte des circonstances particulières où il se trouve, à calculer s'il a pécuniairement avantage à obtenir plus de sucre ou a dépenser moins de noir.

La quantité de sucre cristallisé que l'on peut obtenir pratiquement dans la majorité des cas peut s'évaluer ainsi qu'il suit, en prenant pour base la quantité de sucre accusée par le polarimètre sur 100 de matières solides du jus :

Proportion de sucre pour 100 de matières solides.	Rendement en sucre brut de 100 parties de masse cuite desséchée.	Répartition du rendement dans le cas le plus favorable.	
		En 1er jet.	En 2e jet.
81 %	62 %	53,4 %	8,6 %
82 %	64 %	55,1 %	8,9 %
83 %	66 %	56,9 %	9,1 %
84 %	68 %	58,3 %	9,7 %
85 %	70 %	61,2 %	9,8 %
86 %	72 %	62,0 %	10 %
87 %	74 %	63,6 %	10,4 %
88 %	76 %	65,4 %	10,6 %
89 %	78 %	67,0 %	11 %
90 %	80 %	68,8 %	11,2 %

L'usage de ce tableau est facile à comprendre. Si le jus filtré marque 84 de sucre sur 100 de matière solide, on pourra retirer 68 parties de sucre sur 100 de masse cuite desséchée. Si donc on a obtenu 11 % de masse cuite, le rendement pratique en sucre sera, rapporté au jus initial, $11 \times 0{,}68$ ou 7,48 %. Il est facile, d'ailleurs, d'apprécier à l'aide de ces chiffres l'avantage pécuniaire de la filtration. Le jus de betteraves de bonne qualité moyenne renferme, sans filtration, 80 parties de sucre sur 100 de matières solides. Comme, dans ce cas, la masse cuite ne rend que 60 % de sucre, on voit que le rendement serait seulement de $11 \times 0{,}60$ ou 6,61 % de sucre marchand. Du reste, cette proportion de sucre, variable de 62 à 80 % de la masse cuite, peut s'obtenir, soit en sucre de 1er et de 2e jets, soit avec un plus grand nombre de cristallisations, mais c'est une question sans importance au point de vue spécial de la filtration, et qui se rattache uniquement au travail des masses

cuites. Nous le réserverons donc pour un chapitre ultérieur. Dans le cas actuel, nous avons supposé les conditions les plus favorables, celles où l'on obtient la totalité du sucre en deux jets.

On pourrait peut-être, il est vrai, objecter que l'emploi d'une plus forte proportion de noir augmente les pertes en sucre de la quantité que retient le noir, et qu'ainsi l'amélioration de rendement pourrait se trouver plus ou moins réduite ou annulée. — Pour élucider cette question, j'ai entrepris un grand nombre d'expériences précises. Elles m'ont démontré que la teneur centésimale en sucre d'une dissolution n'est aucunement diminuée par la filtration sur le noir, en d'autres termes, que le noir n'obsorbe aucune partie du sucre des jus (comme il le fait pour les sels et les combinaisons organiques). Selon toute probabilité, la perte à la filtration est donc due exclusivement à ce que le noir retient mécaniquement une partie de la dissolution. Mais j'ai trouvé en même temps, et à mon grand étonnement, que la quantité de jus (et par suite de sucre), qu'on ne peut retirer du noir par les moyens ordinaires, n'est aucunement proportionnelle à la dose de noir employée, mais qu'elle dépend uniquement du soin plus ou moins grand apporté au dégraissage du filtre.

J'ai trouvé en effet, pour 100 parties de jus, et comme moyenne de trente expériences, les résultats suivants:

Noir employé pour 100 de jus.	Jus coulant directement du filtre sans dégraissage rapporté à 100 parties de jus introduit dans le filtre.	Eau de dégraissage ramenée à la densité normale du jus et exprimée en taux % de la quantité initiale de jus.	Total du jus obtenu rapporté à 100 partie de jus envoyé à la filtration.
10 %	89,9 %	5,5 %	95,4 %
20 %	86,7 %	9,3 %	96,0 %
30 %	84,0 %	12,1 %	96,1 %
40 %	79,1 %	15,4 %	94,5 %
50 %	75,6 %	21,0 %	96,6 %

Ces chiffres montrent que, si la quantité de jus retenue par le noir avant dégraissage augmente avec la proportion de ce noir, la quantité totale de jus que l'on retire reste à peu près constante, à la condition d'employer assez d'eau pour le dégraissage. Peu importe qu'on opère avec 10% ou avec 50% de noir. La perte parait toujours se maintenir à 5% de jus, ce qui naturellement entraine un déficit correspondant sur le sucre. Si le jus contenait 10% de sucre, on perdrait donc sur 100 k^{os} de jus 0^{k},5 de sucre, et 0^{k},7 si le titre initial était de 14%.

C'est seulement quand le dégraissage est mal fait que la perte de sucre augmente avec la proportion de noir. Ainsi, dans d'autres essais où le dégraissage n'était pas complet, j'ai trouvé qu'on perdait, sur 100 parties de jus:

6	%	en employant	20	%	de noir
8,5	%	-	30	%	-
11	%	-	40	%	-

Comme on l'a vu plus haut, en augmentant la proportion de noir, on peut ramener des jus de mauvaise qualité au même degré de pureté que les autres; on serait dès-lors amené à faire varier la proportion du noir en sens inverse de la qualité des jus qu'on travaille.

Dans une de ses publications,[1] Michaëlis dit: "Nous avons vu que la quantité des matières azotées est très-variable dans les jus de betteraves. Il faut donc employer aussi des quantités variables de chaux à la défécation, pour obtenir des résultats constamment satisfaisants." Le même précepte doit s'appliquer, et à plus juste titre encore, pour motiver l'emploi de quantités variables de noir.

Malheureusement, dans les fabriques, l'usage est d'employer toujours une proportion de noir plus ou moins forte, mais constante, sans s'inquiéter de la qualité des jus. Le chiffre de

---

1) Journal de l'assoc. des fab. allem. 39^{e} Livr., p. 252.

20 % de noir, qu'on admet presque invariablement partout, est certainement suffisant pour épurer complètement des jus de bonne qualité et assurer de beaux rendements, mais, dans les années défavorables, cette proportion est trop faible et ne peut donner que des rendements insuffisants.

Le fabricant qui veut travailler rationnellement doit donc augmenter ou diminuer l'agent d'épuration, le noir, suivant l'état de pureté des jus, de façon à arriver dans tous les cas à peu près à la même qualité de masse cuite. Il peut ainsi soustraire la fabrication à l'influence des variations dans la qualité des matières premières.

Il est vrai que ce résultat ne peut pas toujours être atteint complètement. Les jus renferment souvent des principes que le noir ne saurait absorber. D'autre part, il est certaines limites d'action ou d'épuration que le noir ne permet pas de dépasser. Ainsi, quelques gouttes de teinture de noix de galle versées dans du jus parfaitement filtré et dépouillé de chaux donnent toujours un trouble et un précipité. Ces jus renferment donc encore des substances azotées, et cela prouve qu'on n'a pas réalisé avec le noir la séparation absolue des matières organiques. De même, les sirops filtrés accusent encore une alcalinité équivalente à 0,10 ou 0,16 de celle de l'eau de chaux. Dans ce cas particulier encore, la filtration ne conduit donc pas à une épuration absolue du jus, au point de vue des bases.

Souvent, on objecte à l'augmentation d'emploi du noir qu'elle élève les frais de la filtration. Cela est vrai, mais en même temps le rendement s'accroît. — Nous avons pris tout-à-l'heure un exemple où, dans les cas les plus favorables, le rendement en sucre n'était que de 6,6 % sans filtration, tandis qu'en employant 40 % de noir on retirait 7,48 % de sucre.

D'autre part, on croit souvent qu'il n'est pas nécessaire de filtrer aussi soigneusement pour produire des sucres bruts, que pour des mélis: c'est un principe erroné; ne pas filtrer soigneusement équivaut toujours à produire moins de sucre cristallisé.

On peut du reste, en étudiant la marche d'un filtre en particulier, s'assurer qu'une plus grande quantité de noir donne des jus plus purs et par suite un rendement en sucre plus élevé.

Un filtre de capacité donnée n'agit au début que sur peu de jus, et c'est seulement dans la suite du travail que la proportion de jus devient plus considérable. Inversement, une quantité donnée de jus se trouve au début en contact avec du noir en plus forte proportion et en même temps meilleur. Le résultat est donc le même que si ce jus était travaillé avec une proportion de noir plus forte et de même qualité.

Or, la marche d'un filtre relevée d'heure en heure m'a donné les chiffres suivants:

Sirop.	Taux % de sucre dans 100 de matière solide.	Décoloration.	Alcalinité rapportée à l'eau de chaux.
Dans la 1e heure	89	450	0,50
- - 2e -	88	400	0,66
Jus.			
- - 3e -	86	500	0,50
- - 4e -	85,5	400	0,66
- - 5e -	84	350	1,00
- - 6e -	83	300	1,33
Eau de dégraissage (5,1 % Balling) . .	78	. . .	0,30
Eau de dégraissage (4,1 % Balling) . .	72	. . .	0,25

Si l'on résume par un relevé graphique les chiffres relatifs à la filtration, on arrive au tracé suivant:

Fig. 142.

Les traits simples indiquent la teneur en sucre pour 100 parties de matières solides, c'est-à-dire le degré de pureté des jus déterminé par le polarimètre et la méthode de Ventzke. Le double trait se rapporte à la décoloration. Enfin, la ligne pointillée représente l'alcalinité du jus, en prenant pour unité celle de l'eau de chaux.

Ces diagrammes font ressortir nettement l'effet du noir et font comprendre comment, en suspendant la filtration au bout de 3, 4 . . . heures, on peut à volonté obtenir des masses cuites plus ou moins bonnes.

Supposons par exemple que, dans le cas choisi plus haut, on ne veuille pas laisser descendre au-dessous de 86 % le rapport du sucre aux matières solides; il faudra, au bout de

trois heures, mettre un nouveau filtre en service. A l'aide du polarimètre et de l'appareil de Ventzke, le fabricant soigneux peut donc obtenir à volonté une masse cuite de qualité voulue, quelles que soient les circonstances originaires. Si au contraire on néglige ces indications, on marche au hasard et sans aucun guide.

L'exemple choisi plus haut se rapportait à un cas où les jus sont filtrés dans le même appareil que les sirops, et immédiatement après eux. Pour savoir si ce mode d'opérer est le plus avantageux, ou s'il vaut mieux faire passer les jus directement sur un filtre neuf, j'ai entrepris quelques recherches expérimentales qui m'ont conduit aux nombres suivants:

Jus coulant directement sur un filtre neuf.	Degré de Ventzke.	Décoloration.	Alcalinité	Densité.
1e heure	90 %	1000	0,33	12,6 %
2e -	88 %	1000	0,33	14,8 %
3e -	87 %	800	0,33	17,0 %
4e -	85 %	500	0,66	21,0 %
5e -	84,5 %	400	1,00	20,6 %
Moyenne.	86,9 %	740	0,53	17,2 % Balling.

En même temps, sur un autre filtre, on faisait passer du jus après du sirop. Les produits de la filtration étaient pris de quart d'heure en quart d'heure et on trouva:

En moyenne	85 %	400	0,88	17 % Balling.

c'est-à-dire un résultat notablement inférieur au précédent.

Des essais ultérieurs m'ont donné les chiffres consignés ci-après:

A. Jus succédant à des sirops.			B. Jus passant sur un filtre neuf.		
Indication du polarimètre de Ventzke pour la densité 1,100.		Différence.	Indication du polarimètre de Ventzke pour la densité 1,100.		Différence.
Avant filtration.	Après filtration.		Avant filtration.	Après filtration.	
Sirop.					
81,95 %	87 %	5,05	79,2 %	82,5	3,3
82,5 %	86,25 %	3,75	79,75 %	86	6,25
82,75 %	86 %	3,25	79,7 %	85	5,3
82,0 %	85 %	3	79,5 %	83,5	4
Jus.					
80,3 %	82 %	1,7	77 %	80	3
79,75 %	81 %	1,25	76 %	79	3
80,3 %	82 %	1,7			
79,75 %	80,3 %	0,55			

Les résultats sont donc plus avantageux dans les deux séries d'expériences lorsque le jus passe sur un filtre différent de celui des sirops, et ce fait confirme l'opinion avancée par Michaëlis que c'est le mode de filtration préférable.

Cette différence est d'ailleurs facile à expliquer théoriquement. Le taux extrèmement faible de richesse des eaux de dégraissage dans l'exemple précédent, (78 à 72 de sucre sur 100 de matières solides), prouve que les liquides de densité plus faible redissolvent une parties des principes étrangers que le noir avait absorbés. A ce titre, les eaux de dégraissage doivent être toujours plus impures que le jus avant filtration. De même, le jus succédant dans le filtre au sirop doit se charger d'une partie des matières que le sirop avait cédées au noir, et dès-lors, le passage successif ne saurait épurer les jus aussi rapidement ni aussi énergiquement que si l'on faisait usage de filtres différents.

D'autre part, l'effet du noir parait beaucoup plus intense sur les jus étendus que sur les liqueurs concentrées, soit que ce résultat provienne de la moindre densité du liquïde, soit qu'on doive l'attribuer à ce que les jus étendus renferment les principes étrangers sous d'autres formes (plus facilement absorbables) que les dissolutions concentrées.

En résumé, la filtration immédiate sur un filtre neuf des jus étendus donne des produits plus facilement cristallisables que l'autre mode de traitement. Du reste, tout en séparant ainsi les filtrations, il est facile de retirer sans dépense spéciale toute la partie du dégraissage des sirops comprise entre 50 et 15 degrés Balling; il suffit de faire passer sur le filtre à dégraisser le jus étendu provenant d'une des chaudières de défécation. Ce jus revient ensuite se mélanger aux autres pour passer une seconde fois sur le noir dans les filtres à jus.

En étudiant en bloc dans les pages qui précèdent l'épuration du jus, nous avons appris seulement à connaître la proportion totale de matières organiques ou minérales qu'on peut éliminer à la filtration. Bien que ce résultat puisse suffire pour la pratique rationnelle de la fabrication, il serait néanmoins intéressant de pouvoir évaluer à part, d'un côté les sels, et de l'autre les matières organiques. Malheureusement, on n'a fait aucun essai sur l'absorption relative de ces deux groupes aux diverses phases de la filtration, et quant à l'effet total, on ne possède que très-peu de chiffres. Ainsi, on a trouvé par exemple que des jus avant la filtration donnaient de 0,329 à 0,323 % de cendres; après la filtration, de 0,225 a 0,252 %. La différence, soit 0,104 à 0,071 % correspond donc aux sels absorbés par le noir.

Stammer admet que, pour les jus, la teneur en sels, étant de 0,65 au début, n'est plus que de 0,38 au commencement de la filtration et 0,48 à la fin du service du même filtre. La différence, soit 0,27 ou 0,17, représenterait donc la quantité absorbée, et, d'après ces chiffres, la réduction serait, au commencement du travail, de 42 %, à la fin de 26 % de la quantité initiale contenue dans les jus. Ce résultat tendrait à

faire conseiller l'emploi de plus fortes quantités de noir pour diminuer un peu dans les jus les sels qui gênent la fabrication.

Pour les sirops, Stammer admet que le taux de sels de 2,77 % se réduit, dans la 1re heure de la filtration, à 1,26 %, ce qui correspondrait à l'absorption de 1,51 % de sels soit 55 % de la quantité primitive. Ce chiffre me paraîtrait du reste trop élevé si la chaux ne formait pas la majeure partie de ces sels.

Dans la 6e heure de filtration, les sirops contenaient encore, sur une teneur initiale de 2,75 % de sels,

2,49 % de sels. Il n'y aurait donc eu d'absorbé que . . . 0,36 % soit 15 % de la quantité totale.

Comme, dans ces expériences, on cherchait avant tout à bien suivre l'action du noir aux diverses périodes, les résultats qui précèdent s'appliquent au cas de la filtration simple. Mais si, dans la 3e heure, par exemple, on fait passer les jus sur du noir neuf, il est clair qu'ils sortiront de ce deuxième filtre aussi bien ou mieux purifiés qu'ils ne l'étaient dans la 1re heure avec un seul appareil. Comme d'ailleurs le 1er filtre, employé comme filtre préparatoire, possède encore une action suffisante pendant les 4e, 5e et 6e heures, il est clair que l'on peut ainsi toujours avoir des jus au degré de pureté de la 1re, 2e ou 3e heure, et que, en employant 3 filtres, le dernier peut encore fonctionner au bout de 7, 8 et 9 heures. De la sorte, on utilise l'action du filtre beaucoup plus complètement, tandis que, dans la filtration simple, il n'eût pu donner au jus qu'une épuration trop faible au bout de ce temps et qu'on eût dû le mettre hors de service bien avant.

J'ai fait un certain nombre d'essais pour préciser l'avantage que présente la circulation du jus sur plusieurs appareils successifs. Toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire pour les mêmes quantités de noir et de jus, pour le même temps, et pour la même température, j'ai trouvé les résultats suivants:

Le jus, passant sur deux filtres contenant chacun la moitié du noir, marquait: 84,7 de sucre pour 100 de matières solides,

256 de décoloration, 0,80 d'alcalinité. En passant sur un seul filtre de même contenance, il accusait seulement 84,4 de sucre pour 100 de matières solides, 166 de décoloration, 0,85 d'alcalinité.

L'avantage est donc bien franchement pour le travail par circulation ou la double filtration. Le noir y est beaucoup mieux utilisé, et on en comprend sans peine la raison: le noir doit enlever aux jus une quantité de matières étrangères très-diverses, pour lesquelles il parait posséder des affinités différentes, de telle sorte qu'il peut absorber encore certaines d'entre elles quand il est saturé des autres. Lorsque le noir se trouve réparti dans plusieurs petits appareils, le jus arrive dans les derniers déjà en partie épuré et le noir qu'il y rencontre, encore neuf, peut éliminer plus facilement les matières difficiles à séparer.

Dans les fabriques, on règle la marche des filtres, soit d'après le temps de service, soit d'après le nombre des chaudières de défécation. Cette dernière méthode me parait la plus rationnelle attendu que, connaissant le volume des chaudières, il est facile de faire agir le noir sur des quantités de jus déterminées et toujours les mêmes. Les ouvriers peuvent en outre, d'après le nombre des chaudières, établir plus facilement la rotation des appareils, tandis que, si l'on tient compte seulement du temps, on s'expose à faire passer plus ou moins de jus sur un filtre que sur un autre.

Le débit d'un filtre de dimension donnée se règle très-facilement d'après sa capacité à l'aide de robinets à cadran permettant de faire varier la vitesse de l'écoulement de façon à avoir un travail uniformément réparti.

Lorsqu'un filtre a été en service pendant le temps voulu, il est dégraissé, c'est-à-dire qu'on déplace par de l'eau la dissolution sucrée retenue dans les pores du noir. On laisse à cet effet couler d'abord un peu du liquide du filtre et on fait arriver à la partie supérieure de l'eau qui, en vertu de sa moindre densité, reste au-dessus du jus. Il se produit ainsi un déplacement successif qui chasse des pores du noir le

liquide sucré dont ils étaient remplis. On obtient de la sorte une solution sucrée de plus en plus étendue: ce sont les eaux de dégraissage, qu'on envoie à la concentration tant que leur richesse en sucre parait suffisante pour couvrir les frais d'évaporation. Pour apprécier ce moment, on se sert d'habitude d'aréomètres qu'on plonge dans le liquide chaud. On cesse de recueillir les eaux de dégraissage lorsque l'instrument marque 0°, ce qui, à la température de 15°, correspond souvent à 1,5 ou 2 degrés Brix.

Le goût lui-même, bien que plus sensible dans ces conditions que les aréomètres, ne permet pas toujours d'apprécier dans ces liqueurs impures d'une manière exacte le moment où il n'y a plus de sucre, attendu que les sels suffisent pour masquer le goût du sucre. Ainsi, j'ai vu souvent des eaux de dégraissage n'avoir plus aucun goût sucré, tandis qu'elles contenaient encore 1 % de sucre et même plus. Si donc on veut se mettre à l'abri des pertes de sucre résultant de ce que l'on cesse trop tôt de recueillir les eaux de dégraissage, la seule ressource est de se servir du polarimètre qui accuse avec précision la présence du sucre et sa proportion dans le liquide. Souvent, lorsque le dégraissage a été trop rapide, on retrouve dans l'eau qui a séjourné dans le filtre une proportion de sucre plus forte que dans les eaux recueillies. Il semble donc indispensable que le dégraissage se fasse assez lentement.

On a également proposé, pour dégraisser les filtres, de n'y mettre qu'un peu d'eau, de la déplacer avec de la vapeur et de fermer alors tous les robinets, de façon à laisser la condensation de vapeur s'opérer. Le vide qui en résulte assurerait l'expulsion de toutes les particules de jus retenues dans le noir. Le vide pourrait être produit plus rapidement et d'une manière plus complète par une pompe, mais néanmoins la vapeur peut être très-utile dans le travail du dégraissage: non seulement elle permet de réduire la quantité d'eau à évaporer, mais encore elle chauffe le noir et l'amène à une température favorable à la fermentation ou au traitement à l'acide qu'il doit subir ensuite.

Une autre question que l'on doit se poser est celle de savoir si les frais de traitement des dernières eaux de dégraissage sont couverts par le produit qu'elles donnent. Si, dans 100 k^{es} d'eau, par exemple, il y a 2 k^{es} de sucre, ces 2 k^{es} à 0^{f},60 représentent 1^{f},20. Mais l'évaporation de 98 k^{es} d'eau exige environ 16 k^{es} de houille dont le prix est, pour certaines localités, presqu'aussi élevé. En tout cas, il est facile de voir que des eaux de dégraissage à ½% de sucre coûteraient plus de traitement qu'elles ne valent.

C'est seulement dans le cas où l'on disposerait d'un mode d'évaporation très-économique ou gratuit qu'on aurait intérêt à dégraisser complètement les filtres, même avec de grandes quantités d'eau. On a proposé de revivifier le noir avec ces eaux de dégraissage, le sucre devant passer dans le traitement à l'état d'acide acétique ou lactique, mais cette méthode me semble inadmissible. Le noir reprendrait évidemment aux eaux de dégraissage une partie de matières étrangères qu'il avait séparées des jus, et dont la revivification a précisément pour but de le dépouiller.

D'un autre côté, il me semble rationnel de travailler à part les eaux de dégraissage dont la qualité est toujours mauvaise, et de ne pas les traiter avec les autres produits qui ne peuvent que perdre au mélange.

J'ai d'éterminé, par des essais en petit, la quantité totale d'eau de dégraissage qu'on obtient pour diverses proportions de noir: les résultats sont exprimés en représentant par 100 la quantité des jus soumise à la filtration:

Noir employé.	Jus à la densité normale passant dans les eaux de dégraissage.	Quantité d'eau de dégraissage réellement obtenue.	Quantité d'eau restant à évaporer.
10 %	5,6 %	37,0 %	31,4 %
20 %	9,16 %	91,8 %	82,64 %
30 %	12,1 %	98,5 %	86,4 %
40 %	15,3 %	106,4 %	91,1 %
50 %	21,4 %	121,6 %	100,2 %

En réalité, ces chiffres, qui correspondent à un dégraissage complet, sont trop forts pour la pratique.

Dans la fabrication courante on recueille généralement, comme eau de dégraissage, 2 fois le poids du noir. L'usine a besoin en outre au moins d'un volume d'eau représentant 3 fois le poids du noir pour achever l'épuisement.

Ainsi, avec 20 % de noir, on recueille 40 % comme eau à évaporer et on en laisse perdre 60 %.

Nous avons déjà signalé plus haut que les eaux de dégraissage étaient toujours moins pures et plus alcalines que le jus. Quand on concentre les eaux de dégraissage, ou qu'on rapporte leur alcalinité à la densité originaire du jus, on trouve que ces eaux sont trois fois plus alcalines que le jus. De même, elles renferment, à densité égale, beaucoup plus de matières organiques, et c'est pour cette raison qu'elles ont une tendance si prononcée à la fermentation acide. Il semble donc que l'eau, en passant sur le noir, lui enlève une partie des principes étrangers qu'il avait séparés des jus.

Michaëlis admet également[1] que le lavage peut enlever plus ou moins facilement au noir quelques unes des substances empruntées par lui aux jus, et que le dégraissage commence déjà à éliminer du filtre les substances azotées, le principe ulmique noir, les matières extractives, les acides de la betterave unis à la chaux et aux alcalis.

On voit donc que, plus on prolonge dans le filtre même le lavage du noir par de l'eau pure, plus on enlève de matières étrangères d'une manière économique, plus on épargne de temps, de travail, et plus on réduit les pertes à la revivification.

En agitant mécaniquement le noir pendant le lavage, en se servant par exemple d'un laveur mécanique on facilite le départ des matières étrangères, mais en revanche on détermine une perte de noir qui varie de 1 à 1½ %.

---

1) Journal de l'assoc. des fab. allem. T. 5, p. 258.

Quand on lave le noir, on doit tenir compte de la pureté des eaux qu'on emploie, et on doit considérer l'opération comme terminée lorsque l'eau sortant du filtre ne laisse pas plus de résidu qu'en y entrant.

Le noir, après avoir servi dans les filtres est envoyé à la revivification, et quoique ce traitement doive faire l'objet d'un chapitre spécial, ce peut être ici la place de rappeler qu'on pourrait revivifier le noir dans les filtres mêmes. C'est une méthode qui me paraîtrait possible et pratique, surtout si l'on débarrassait le jus étendu avant filtration de la majeure partie des matières azotées, condition qui, ainsi que nous le verrons plus loin, est parfaitement réalisable. Dans ces conditions l'acide chlorhydrique, l'acide acétique, etc., offrent un moyen de revivification simple: il suffit de les faire couler sur le noir dans le filtre même. On sait en effet que le noir, dans le filtre, s'engorge surtout à la partie supérieure du filtre, et que les couches du haut retiennent la majeure partie de la chaux. Ainsi, Schatten a démontré que, dans un filtre, les premières couches à partir du haut contiennent 3 fois plus de chaux que celles du bas. Rien ne serait plus simple que de faire agir sur ces premières couches, dans le filtre même, l'acide étendu qui, se trouvant en contact avec la plus grande partie de la chaux, la neutraliserait aux points mêmes où elle se serait déposée. De la sorte, le noir ne souffrirait point ou ne souffrirait que très-peu du traitement, et on éviterait tout transport de cette matière. Il est vrai qu'il faudrait recouvrir les filtres avec une matière inattaquable par les acides (de l'émail par exemple), mais ce ne serait pas là une difficulté réelle, car le supplément de dépense qui en résulterait serait rapidement couvert par les économies réalisées. — Au bout de quelques heures d'action à une température élevée, on laisserait sortir les eaux acides et on procèderait à un lavage répété à deux ou trois reprises dans le filtre avec de l'eau chaude et autant que possible distillée. Il se pourrait d'ailleurs que l'échauffement du noir par de la vapeur à haute température suffît ensuite pour détruire la proportion insignifiante des matières organiques.

On pourrait aussi, pour ce dernier objet, c'est-à-dire pour éliminer les matières organiques, commencer par faire passer dans le filtre, immédiatement après dégraissage, des carbonates alcalins ou des lessives caustiques. C'est ensuite seulement qu'on ferait agir l'acide pour enlever la totalité de la chaux et des alcalis, comme on l'a vu plus haut.

Avant de terminer ce chapitre de la filtration, il nous reste à chercher les frais qu'entraine ce travail. Nous supposerons toujours qu'on opère sur 50,000 k^{os} de betteraves par jour et que la campagne soit de 120 jours. Les filtres exigent par poste un ouvrier et demi, soit, par 24 heures, 3 journées et pour la campagne 360 jours à 1^{f},20 . . . . . 432^{f}

Pour revivifier 100 k^{os} de noir et charger les filtres, on doit compter de 1^{f} à 1^{f},20 comme nous le verrons en traitant de la revivification. Admettons le chiffre de 1^{f}; il faudra, à raison de 20 % de noir sur 6,000 tonnes de betteraves, 1,200,000 k^{os} de noir, soit . . . . . 12,000^{f}

Total . . . 12,432^{f}

En admettant un rendement en jus de 90 %, on voit que la filtration coûte environ 0^{f},23 par 100 k^{os} de jus. A ce chiffre, il convient d'ajouter les frais d'évaporation des eaux de dégraissage, soit 2,400 tonnes d'eau. Cette quantité correspond à une dépense de 400 tonnes de houille environ, soit à 30^{f} la tonne, 0^{f},22 par 100 k^{os} de jus. Le prix de revient total serait donc de 0^{f},45 environ. Par contre, la richesse du jus étant portée de 80 à 84 de sucre sur 100 de matières solides, le rendement s'élève de 60 à 68 % de sucre sur 100 de masse cuite, et, comme 100 k^{os} de jus donnent environ 11 k^{os} de masse cuite, on voit que la filtration correspond à 0,88 % de sucre en plus. Cette quantité à 0^{f},60 les 100 k^{os} représente 0^{f},52 environ par 100 k^{mes} de jus.

Remarquons toutefois que, dans ce calcul approximatif, nous n'avons pas tenu compte de la plus grande beauté des produits due à la filtration. D'un autre côté, nos rendements,

déduits du polarimètre, ne sauraient être complètement exacts, puisqu'on n'a pas fait entrer dans les éléments la nature des matières étrangères du jus, mais seulement leur somme.

Quoiqu'il en soit, il est clair que tout le bénéfice noté plus haut disparaitrait si on avait du noir de mauvaise qualité qui ne pût amener l'amélioration de 8 % dans le rendement de la masse cuite que nous avons supposée. La perte serait d'autant plus réelle que l'emploi du noir bon ou mauvais entraîne toujours un déchet de 5 % du jus, ce dont il n'a pas été tenu compte dans notre calcul.

Ces considérations, si succinctes qu'elles soient, suffisent pour faire comprendre que le fabricant ne doit employer que du noir de la meilleure qualité. C'est avec celui-là seulement que la filtration peut constituer une méthode avantageuse.

Chapitre IX.

Sur la quantité d'alcalis absorbée par le noir à la filtration.

Les betteraves s'assimilent, comme on le sait, pendant leur végétation, des sels alcalins et terreux empruntés au sol, et ces sels, dont la proportion varie suivant la fumure, la nature du terrain, les conditions climatériques, se retrouvent, en doses variant de 0,5 à 1,4 %, dans les jus de betteraves pendant la fabrication. Si faible que puisse paraître leur proportion, ces matières étrangères exercent sur l'extraction une influence capitale. Non seulement elles empêchent de cristalliser un poids de sucre proportionnel au leur, mais encore elles diminuent la qualité du produit final.

Naturellement, l'action fâcheuse de ces sels diminue d'importance lorsqu'on peut les éliminer en proportion plus ou moins grande pendant la fabrication, et c'est, comme nous le verrons ci-après, une des propriétés du noir que d'opérer cette élimi-

nation partielle. Cette question du rôle du noir est donc de nature à motiver une étude spéciale et c'est dans ce sens que j'ai cherché à déterminer la quantité des différents sels que le noir absorbe pendant la filtration des jus.

La question doit d'ailleurs être examinée à un point de vue spécial: il importe de tenir compte en effet de la forme sous laquelle les bases sont associées aux jus pendant les phases successives de la fabrication. Il n'est pas indifférent que la potasse, par exemple, se trouve dans les jus et accompagne le sucre pendant le travail à l'état de potasse libre, de carbonate, de phosphate ou de chlorure. L'action de chacun de ces sels sur le sucre est essentiellement différente; le choix de ces combinaisons, ou leur transformation les unes dans les autres, constitue précisément un des éléments dont dispose le fabricant, (au moins s'il cultive lui-même ses betteraves), pour diriger son travail dans la voie la plus profitable.

Ce dernier côté de la question, l'action chimique des sels sur le sucre, a déjà été l'objet de nombreux travaux. Aussi me suis-je borné, dans les pages qui suivent, à étudier les quantités des divers sels que peut absorber le noir, en vue d'élucider un point resté encore obscur. Le travail que je reproduis ici a déjà paru dans le Journal Polytechnique de Dingler, Tome CLXI, mais il a sa place marquée dans cet ouvrage, et avec d'autant plus de raison que, à diverses reprises, on a soutenu que l'absorption des alcalis par le noir était nulle ou du moins qu'on retrouvait dans les sous-produits une quantité de sels égale à celle que renfermaient les jus avant filtration.

Ainsi, en 1863, M. Weiler, dans son travail sur le procédé Périer-Possoz, écrivait: "L'absorption des sels du jus par le noir n'est qu'une hypothèse purement gratuite; le noir peut bien retenir dans ses interstices de petites proportions de sels, mais ces matières rentrent intégralement dans les jus avec les eaux de dégraissage."

Il est parfaitement possible que Weiler, en opérant dans son laboratoire et peut-être après une centaine de lavages, ait

pu reprendre au noir la totalité des sels, mais, dans la pratique où le fabricant ne fait que trois lavages du noir, avec une quantité d'eau égale au double du poids de ce noir, il est absolument inexact de soutenir que les eaux de dégraissage ramènent dans les jus la totalité des sels.

Du reste, Stammer a démontré de son côté qu'il reste dans le noir 13 à 30 % des sels absorbés.[1] De même, en 1862, Renner de Hambourg écrivait, dans un travail remarquable sur l'action du noir,[2] la phrase qui suit:

"Après 25 opérations d'épuisement à chaud et 25 lavages à l'eau distillée, je ne suis pas parvenu à enlever complètement au noir la soude qu'il s'était assimilée."

Ajoutons enfin, et comme dernier argument, que, si l'assertion de Weiler était exacte, la filtration n'aurait aucune raison d'être.

La propriété du noir d'absorber une grande partie des matières organiques des jus végétaux fut, dès le début, mise hors de doute par la décoloration des liqueurs, et ce fut le motif qui fit adopter cet agent dans le travail de fabrication du sucre.

"Plus tard, Graham trouva que les matières minérales, comme la chaux, la potasse et les sels métalliques basiques, sont également soumises à l'action du noir. D'après les expériences de Chevalier, l'acétate et l'azotate basiques de plomb sont intégralement absorbés. Les recherches de Weppen prouvèrent ensuite que, selon toute probabilité, l'effet du noir s'étendait à tous les sels métalliques. Le pouvoir absorbant du noir s'exerce donc, comme le montrent les observations précédentes, à une masse de corps de nature chimique très-différente, mais, suivant la composition de ces corps, les effets d'absorption ont une intensité très-différente." (Knapp.)

Les expériences auxquelles il est fait allusion dans la citation qui précède ont été faites, au moins pour une partie,

---

1) Journal polytechnique de Dingler. T. CLX, p. 378.
2) Journal polytechnique de Dingler. T. CLXVI, p. 294.

dans des conditions qui ne sauraient s'appliquer aux phénomènes relatifs à la fabrication du sucre. Ainsi, pour les corps cités plus haut, l'action du noir a été prolongée souvent jusqu'à deux et même six jours. Le fabricant, au contraire, en présence de l'altérabilité des jus, ne peut avoir en vue que les actions dont la durée se limite à une heure ou deux ou plus. C'est donc également dans cette limite de temps restreinte qu'il était intéressant d'étudier les effets d'absorption, de façon à rester dans des conditions identiques à celles de la fabrication. Parmi les corps qu'on pouvait étudier à ce point de vue, les plus importants m'ont paru les alcalis et leurs sels, qu'on peut considérer comme représentant les matières minérales des jus de betteraves.

Pour ces essais, j'opérais sur des solutions faibles d'alcalis et de leurs sels, telles qu'elles peuvent se trouver dans les jus bruts ou déjà modifiés par la fabrication. L'expérience se faisait à 15° et on filtrait la dissolution sur 25 % de son poids de noir de bonne qualité n'ayant servi qu'une fois en fabrication. Les liqueurs étaient reprises et reversées sur le noir: elles traversaient donc deux fois l'épaisseur de la couche filtrante dans l'intervalle d'une heure. Dans tous les essais, on conserva la même qualité de noir, le même grain; pour le lavage, (opération complètement analogue au dégraissage des filtres dans les fabriques), on employa un poids d'eau distillée représentant quatre fois le poids du noir, soit notablement plus que dans le travail de la pratique.

Le tableau suivant reproduit les résultats trouvés exprimés en taux % de la quantité initiale d'alcali. Ainsi, par exemple, on filtrait 200 cent. cubes de dissolution contenant 2 grammes de potasse libre sur 25 grammes de noir. La liqueur filtrée ne contenait plus que $1^{gr},416$ ou 70,8 % de la quantité totale. En lavant avec 100 cent. cubes d'eau distillée, on reprit au noir $0^{gr},314$ ou 15,7 % de base, soit au total 70,8 + 15,7 ou 86,5 %. Le reste, c'est-à-dire 13,5 %, avait donc été absorbé.

Cet exemple suffira pour faire comprendre sans difficulté les chiffres ci-après:

Après filtration sur le noir, il restait de 100 p. de sels ci-après.	Dans la liqueur filtrée.	Dans l'eau de lavage.	Total.	Quantité absorbée.	Observations.
Potasse, Potasse libre . .	70,8	15,7	86,5	13,5	à 60°.
— — . .	66,7	16,7	83,4	16,6	à 15°.
— — . .	66	17,5	83,5	16,5	—
— — . .	46,5	33,5	80	20	50 % de noir.
Carbon. de potasse	50	25	75	25	—
— — .	68,4	15	76,4	23,6	Noir de mauvaise qualité.
— — .	37	25	63	37	50 % de noir.
— — .	58	18,6	76,6	23,4	
Phosph. de potasse	55,3	13,2	69,3	30,7	
— — .	40,6	16,2	56,8	43,2	
Azotate de potasse	78,5	15	93,5	6,5	
— — .	84	15	99	1	
Chlorure de potassium	76	21	97	3	
— — . .	80,5	18,2	98,2	1,3	
Citrate de potasse .	67,8	20	87,8	12,2	
Sulfate de potasse .	59	18,6	77,6	22,4	
Soude, Carbon. de soude .	52,5	23,5	76	24	
— — .	59,1	22,6	81,7	18,3	à 60°.
Chlorure de sodium	74,5	24,5	99	1	
Phosphate de soude	51	16,6	67,6	32,3	
— — .	56	16	72	28	
Azotate de soude .	80	15	95	5	
Sulfate de soude .	63	16,6	79,6	20,4	
Magnésie, Sulfate de magn.	42,5	8,5	91	49	

Nous devons faire remarquer que dans ces expériences, il n'a pas été tenu compte des doubles décompositions qui se produisent par échange, par exemple entre les phosphates ou les sulfates alcalins et le carbonate de chaux du noir, décompositions qui font passer dans les liqueurs filtrées d'autres sels. Il ne s'agissait pas d'opérer ici des dosages qualitatifs, mais de déterminer quantitativement la proportion totale des sels alcalins, seul élément dont la pratique ait à s'occuper.

Les chiffres qui précèdent prouvent jusqu'à l'évidence qu'une notable partie (de 13 à 24 %) des alcalis libres ou car-

bonatés[1] est ou peut être absorbée par le noir dans les proportions où on l'emploie dans les fabriques de sucre; que par suite, pour supprimer l'usage du noir, il faudrait lui substituer un autre agent qui ne se bornât pas à transformer les composés minéraux des jus, mais qui pût en éliminer réellement une proportion au moins équivalente à celle qu'absorbe le noir.

Il résulte également des expériences ci-dessus que, par la filtration ou par un contact prolongé avec le noir, la potasse et la soude sont bien réellement absorbées, et que le lavage, même avec une proportion très-forte d'eau, ne dépouille pas le noir de ces matières. Ainsi se trouve justifiée la nécessité de traiter le noir par un acide, lorsque son pouvoir absorbant pour les matières dont il s'agit s'est trop affaibli.

Enfin, on voit que la proportion des sels contenus dans le jus après filtration ne saurait être la même pour tous les cas, ainsi qu'on le prétend souvent. La comparaison qui précède des variations du pouvoir absorbant pour les différents sels qui peuvent se rencontrer dans le jus constitue donc une étude non-seulement intéressante, mais encore instructive au plus haut degré, et qui permet de se rendre compte de beaucoup des phénomènes qu'on observe dans la pratique.

Ainsi, c'est par exemple un fait bien connu, que les betteraves provenant de sols salpêtrés, et dont les jus, en vertu de leurs propriétés sélectives, contiennent du salpêtre, ne donnent que peu de sucre et du sucre de mauvaise qualité. Cependant, dans ce cas, la quantité totale des matières salines du jus peut n'être pas plus grande que dans d'autres conditions où les betteraves se laissent facilement travailler et donnent de beau sucre.

Les mêmes expériences confirment d'ailleurs les belles recherches d'Anthon, et démontrent, comme l'avait observé ce savant, qu'au point de vue de la qualité des sels, la potasse

---

1) J'ajouterai que les bicarbonates alcalins sont absorbés en proportion encore plus notable.

n'exerce pas sur la cristallisation du sucre une action aussi nuisible qu'on l'admettait généralement.

Mais un coup d'œil sur nos résultats suffit pour montrer que, pendant la filtration, le noir n'absorbe pas, ou pour ainsi dire pas, le salpêtre. Si, par exemple, en jus renfermait 0,6 % de salpêtre et un autre 0,6 % de potasse, le premier arriverait à la cuite conservant encore ses 0,6 % de salpêtre, soit, dans la masse cuite 8 × 0,6 ou 4,8 % tandis que la proportion de potasse du second pourrait avoir été réduite de 25 % et plus. Ce dernier jus, après filtration, n'en contiendrait plus que 0,45 % et, dans la masse cuite, 3,6 %. Or, si dans les deux cas, on admet que les deux sels aient sur le rendement en sucre la même influence chimique,[1] qu'une partie de chacun d'eux puisse empêcher, par exemple, la cristallisation de 6 p. de sucre, on trouvera que

4,8 % de salpêtre retiennent dans les mélasses	28,8 p. de sucre
3,6 % de potasse	21,6 - - -
Différence	7,2 p. de sucre.

Le salpêtre entrainerait donc une perte supplémentaire de 7,2 p. de sucre et la formation d'une quantité de mélasse correspondante. En d'autres termes, et avec un rendement de 10 % en masse cuite, le fabricant perd, par suite de la présence du salpêtre, 0,72 de sucre en plus par 100 k^{gr} de betteraves. Les producteurs doivent donc veiller à ce que la betterave ne puisse absorber pendant sa croissance aucun azotate, car la fabrication ne dispose d'aucun moyen pour éliminer ces matières.

Une autre conséquence importante des expériences que nous venons de rappeler, c'est que le noir n'absorbe pas ou n'absorbe que très-peu les chlorures alcalins. Ce fait a du reste été constaté depuis par plusieurs chimistes et notamment par H. Schwartz.[2]

---

1) Nous n'ignorons pas que le salpêtre et la potasse exercent sur le sucre des effets très-différents et si nous avons supposé ici une égalité chimique, c'est uniquement pour mettre mieux en évidence les conditions diverses qui peuvent influer d'une façon trés-notable sur le rendement en sucre et sur la cristallisation.

2) Journal polytechnique de Dingler, T. CLIX, p. 316.

Il en résulte en premier lieu la possibilité de dépouiller complètement le noir des alcalis libres ou carbonatés absorbés par lui: Il suffit de transformer ces principes en chlorures que le lavage enlève ensuite intégralement. C'était déjà une propriété connue pour la chaux absorbée à la filtration, mais nos résultats d'expérience permettent de l'étendre à la potasse et à la soude, et prennent ainsi une réelle importance au point de vue de la pratique.

En second lieu, lorsque, suivant l'idée de Michaëlis, on transforme les alcalis dans le jus même en chlorures alcalins, ces derniers sels ne sont pas absorbés par le noir et, par suite, le sucre arrive à la cristallisation accompagné d'une proportion de sels beaucoup plus forte que si les jus n'avaient renfermé que des alcalis libres ou carbonatés. Une partie de potasse libre donne, complètement neutralisée, 1p,3 de chlorure de calcium qui passe intégralement à la cuite, tandisque la même quantité de potasse libre serait réduite de 20% à la filtration et 0p,8 seulement arriveraient jusqu'à la cuite.

Ces proportions de sels dans le jus sont loin d'ailleurs d'être aussi insignifiantes qu'elles le paraissent au premier abord, car la concentration réduit le jus au 8e de son poids au plus; les masses cuites renferment donc 8 fois plus de sels que le jus, soit, dans l'exemple précédent, pour le chlorure de potassium 8 × 1,3 ou 10,4, et pour la potasse 8 × 0,8 ou 6,4 de matières salines pour 100 de masse cuite.

C'est par cette différence considérable dans la quantité des sels qui arrivent à la cuite que l'on peut probablement expliquer pourquoi, dans beaucoup de fabriques, en transformant les alcalis en chlorures à la défécation on n'est arrivé qu'à des masses cuites mauvaises. La méthode de Michaëlis ne semblerait applicable avec profit que là où les jus contiennent un minimum d'alcalis et où une petite augmentation dans le taux de ces sels n'a que de moindres inconvénients.

Ce parait être aussi pour le même motif que Michaëlis conseille de ne pas degraisser complètement les filtres, c'est-à-dire de ne pas enlever au noir par le lavage les dernières

portions de sels qu'il retient mécaniquement. D'après l'inventeur, la perte d'un peu de sucre qu'entraine un lavage incomplet serait moins grave que la réintroduction dans les jus d'une trop forte quantité de sels par suite d'un épuisement prolongé.

Indépendamment de la question d'économie et de l'inconvénient de perdre ainsi une partie du sucre extrait à grands frais de la betterave et conduit jusqu'à la filtration, les chiffres cités plus haut prouvent que, même en suivant à la lettre le conseil de Michaëlis, en laissant perdre toutes les eaux de dégraissage, les liqueurs filtrées contiendraient, dans sa méthode, encore plus de chlorures alcalins, (1,33 × 0,75 ou 0,9976) que si, laissant les bases à l'état de carbonate ou en liberté, on réunissait les liquides filtrés et les eaux de dégraissage, car la proportion serait seulement de 0,8 %. Je suis donc assez disposé à croire que c'est à cette indifférence des chlorures alcalins pour le noir qu'est dû principalement le peu de succès pratique de la méthode de Michaëlis.

Si l'affirmation que nous avons posée plus haut est exacte, si les chlorures alcalins ne sont pas absorbés par le noir, ces sels doivent arriver dans la masse cuite et il doit être possible de les y retrouver. D'autre part, si les sels et le sucre forment à des températures élevées un sucrate, les chlorures doivent se retrouver encore dans le sucre brut et même en partie dans le sucre raffiné, car les méthodes de travail dont nous disposons ne permettent pas de les éliminer d'une manière complète.

En terminant ce chapitre, j'ajouterai quelques mots sur les différences d'effet nuisible des divers sels alcalins, bien que cette question s'écarte un peu du cadre de ces pages où l'on n'a eu en vue que les quantités de sels.

Les phosphates sont, comme nous l'avons vu, absorbés en proportion relativement très-grande. C'est un fait important, car, sans cette propriété, nous n'aurions pas la possibilité d'employer ces sels dans la fabrication. Il est vrai que l'élimination des phosphates est encore loin d'être complète: une partie de potasse complètement neutralisée donne 1ᵖ,5 de phosphate

de potasse $2KO, HO, PhO^5$. Si le noir absorbe 30 % de ce sel, il en restera encore 1,5 × 0,70 ou 1ᵖ,05 dans le jus, tandis qu'il ne serait resté que 0ᵖ,75 de carbonate de potasse. Néanmoins, et malgré l'inconvénient dû à la quantité de phosphate alcalin qui peut rester dans les jus jusqu'à la cristallisation, nous avons là une indication précieuse sur la marche à suivre dans la culture des betteraves à sucre. La betterave est une plante à potasse et il est essentiel, pour assurer son complet développement, de lui fournir cette base en quantité suffisante. Mais le cultivateur demeure maître de la forme sous laquelle il mettra cet élément nutritif à la disposition de la plante. Ainsi, il peut, par exemple donner à la betterave du phosphate de potasse au lieu d'azotate, et si, dans les deux cas, la plante s'assimile à peu près la même quantité de base (ce qui du reste serait à vérifier soigneusement), cette substitution aura pour conséquence de donner des jus infinement plus faciles à travailler et d'un rendement notablement supérieur, comme quantité et comme qualité. D'ailleurs, on connait assez l'influence favorable des phosphates sur l'aspect et la santé des betteraves.

La faculté d'absorption du noir pour les acides (ou, plus exactement, la combinaison chimique de ces acides avec les sels calcaires du noir) ne m'a paru présenter qu'un médiocre intérêt au point de vue du fabricant, car les jus de betteraves défécués ne contiennent jamais d'acides libres. Je n'ai donc pas cru devoir en faire l'objet de nouvelles études. Il suffit de savoir que le noir absorbe également les acides.

Comme conclusion, je reproduis dans un tableau d'ensemble les proportions de sels que le noir élimine et celles qui restent tant dans 100 parties de jus filtré que dans 100 parties de masse cuite concentrée au 8°.

A. Sels à base de potasse.

	KO + HO Potasse libre.	KO + CO^2 Carbonate.	K Cl Chlorure de potassium.	PhO^5 2KO + HO Phosphate.	2KO + $\overline{Ci}$ Citrate.	KO + AzO^5 Azotate.	KO + SO^3 Sulfate.
Représente, la neutralisation étant complète	1	= 1,23	= 1,33	= 1,55	= 1,82	= 1,8	= 1,55
25 parties de noir absorbent sur 100 parties de sels	16 %	23 %	2 %	32 %	12 %	6 %	22 %
Il reste donc, dans 100 de jus	0,84	0,95	1,31	1,05	1,60	1,7	1,21
et dans 100 de masse cuite	6,22	7,60	10,48	8,40	12,8	13,6	9,68

B. Sels à base de soude.

	Na O Soude libre.	Na O + CO^2 Carbonate.	Na Cl Chlorure.	2NaO, HO + PhO^5 + 24HO Phosphate.	$\overline{Ci}$ + 3Na O Citrate.	Na O + AzO^5 Azotate.	SO^3 + Na O + 10 HO Sulfate.
Représente, la neutralisation étant complète	1	= 1,71	= 1,89	= 5,77	= 2,77	= 2,74	= 5,2
25 parties de noir absorbent sur 100 parties de sels	—	18 %	1 %	30 %	—	5 %	20 %
Il reste donc, dans 100 de jus	—	1,41	1,87	4,06	—	2,6	4,1
et dans 100 de masse cuite	—	11,28	14,96	32,48	—	20,8	32,8

Livre V.

ÉVAPORATION ET CUITE DES JUS.

Chapitre I.

Évaporation des jus.

Les jus, purifiés tant à la défécation que sur les filtres, doivent être privés de la majeure partie de leur eau, pour qu'ils puissent abandonner par la cristallisation le sucre qu'ils renferment.

Cette opération se divise dans la pratique en deux périodes distinctes: 1° la *concentration* du jus étendu jusqu'à ce qu'il soit réduit à la moitié de son volume primitif, ou jusqu'à ce qu'il marque 50° Balling (27° Baumé); c'est l'évaporation; 2° ce jus déjà très-riche, ou *sirop*, est de nouveau concentré jusqu'au point où il cristallise: cette seconde opération constitue la *cuite*. Nous ne nous occuperons dans ce chapitre que de l'évaporation, réservant la cuite pour un chapitre ultérieur.

Dans l'évaporation, on cherche à amener les jus aussi vite que possible à l'état de sirops. La quantité d'eau qu'il faut enlever à cet effet varie, suivant la concentration plus ou moins grande du jus initial dans la betterave, suivant l'addition d'eau plus ou moins forte à la râpe. Même dans les cas les plus favorables, si l'on suppose que le jus initial marquait 8° Baumé (14,4 % Balling), si l'on travaille sans addition d'eau à la râpe, la proportion d'eau est encore très-élevée, et son évaporation entraîne forcément des frais considérables.

Il est du reste facile d'en faire le calcul:

50,000 k^os de betteraves, par exemple, à 90 % de jus donnent 45,000 k^os de jus (à 8° Baumé ou 14,4 % Balling). Ce jus marquant après la défécation 13 % Balling, on aura, en négligeant la correction relative aux sels, pour le poids des matières solides du jus à l'état sec, la proportion:

$$100 : 13 = 45{,}000 : x,$$

$$\text{d'où } x = \frac{45{,}000 \times 13}{100} = 5850 \text{ k}^{os}.$$

On tire immédiatement de là la quantité de sirop à 50 % Balling que fourniront les 45,000 k^os de jus, car on a:

$$50 : 100 \times 5850 : x,$$

$$\text{d'où } x = \frac{5850 \times 100}{50} = 11{,}700 \text{ k}^{os} \text{ de sirop à } 50\,\%.$$

La quantité d'eau à évaporer sera donc de

45,000 k^os de jus à 14,4 % Balling
— 11,700 k^os de sirop à 50 % Balling

soit 33,300 k^os d'eau par jour, ou par heure:

$$\frac{33{,}300}{24} = 1387 \text{ k}^{os}.$$

En rapportant ces calculs à 100 k^os de jus initial à 8° Baumé, on trouve que cette quantité donnera 26 k^os de sirop à 50 % Balling (27° Baumé) par l'évaporation et 14^k,4 de masse cuite cristallisable, en supposant qu'il n'y ait aucune perte, ni par les écumes, ni par les noirs, pertes qu'il est impossible d'éviter et qui diminuent toujours plus ou moins le rendement théorique cité plus haut.

Par conséquent, on obtiendra sur 100 k^os de jus
- - - - - 26 k^os de sirop,

et on aura à évaporer 74 k^os d'eau.

On voit qu'en rapportant tout au poids, le jus, pour être ramené à 50 % Balling, doit être concentré à peu près au quart, et que par suite on a à évaporer les $^3/_4$ de son poids d'eau. Dans l'opération de la cuite, on devra encore évaporer 45 k^os de l'eau restée dans le sirop, et l'on n'obtiendra en

masse cuite que 55 % en poids soit un peu plus de la moitié du sirop.

Si l'on rapporte ces quantités au volume,

100 k^{os}	de jus à 13 % Balling	représentent	en	volume	95^{litres},03
26 k^{os}	de sirop à 50 %	-	-	-	21 - ,07
14 k^{os}	de masse cuite à 90 %	-	-	-	9 - ,62

Le jus se réduit donc en volume:

par l'évaporation à $^1/_{4,5}$ du volume primitif,
par la cuite à $^1/_{2,2}$ du volume de sirop,

au total à $^1/_{9,9}$, ou, en chiffres ronds, au $^1/_{10}$° du volume primitif.

Les densités ou les indications saccharimétriques sont ici, comme la teneur de la masse cuite, prises à la température normale; c'est un point qu'il ne faut pas négliger, car les jus pesés à chaud ont une densité notablement moindre.

Dans la pratique, les jus qu'on envoie à l'évaporation sont en réalité beaucoup plus étendus, mais nous avons déjà supposé qu'ils fussent ramenés à la densité primitive en imputant les frais de cette première évaporation, soit au compte de la production du jus, soit au compte de la filtration pour les eaux de dégraissage. Nous n'aurons donc à tenir compte de la densité réelle des jus évaporés qu'au moment où nous voudrons calculer la dimension des appareils nécessaires à la fabrication.

L'évaporation se fait dans presque toutes les fabriques par la vapeur: anciennement, on employait partout pour ce travail les chaudières à foyer direct. Les jus étaient dirigés dans de vastes bassines ouvertes à la partie supérieure et de faible hauteur disposées au-dessus d'un foyer à bois ou à houille. Pour éviter les coups de feu directs sur le fond de la chaudière, on avait soin de recouvrir entièrement le foyer par une voûte; les gaz de la combustion passaient par des orifices latéraux ménagés au-dessous de la voûte pour arriver à la chaudière d'évaporation. De là un carneau vertical les ramenait à la cheminée. Des orifices convenablement ménagés permettaient de faire arriver à la place des gaz chauds de l'air froid sous la

chaudière, au moment où l'on voulait faire couler le sirop parvenu au degré de concentration voulu.

Le plus simple examen de cette disposition suffit pour faire comprendre qu'elle ne satisfait en rien aux conditions d'économie du combustible que doit chercher la fabrication. Les gaz de la combustion ne restent en contact avec le fond de la chaudière que pendant quelques secondes au plus, et, comme ils s'échappent dans la cheminée à une température très-élevée; on perd toute la chaleur correspondante.

D'un autre côté, les dissolutions sucrées sont exposées, dans des bassines à feu nu, à une température très-élevée; on n'obtient que des sucres foncés, de médiocre apparence. Cet appareil ne saurait donc même pas être recommandé pour la cuite des sous-produits.

On admet que le fond de ces bassines peut transformer en vapeur, par mètre carré et par heure, 30 k^{os} d'eau bouillante. Par suite, si, comme dans l'exemple que nous avons choisi, on a à évaporer 33,300 k^{os} d'eau en 24 heures ou 1387 k^{os} par heure, il faudra $\frac{1387}{30}$, soit 46 mètres carrés environ de surface de chauffe. Ce calcul ne tient d'ailleurs pas compte des quantités d'eau qui s'ajoutent au jus dans les diverses phases de la fabrication. Ces quantités sont très-variables, mais, en supposant seulement 20 % d'eau à la râpe, on aura de ce chef à évaporer en plus 10,000 k^{os} et, pour les eaux de dégraissage, le double, soit 20,000 k^{os}, ou en tout 30,000 k^{os}. Ce chiffre correspond à 1,250 k^{os} par heure, et exigerait par conséquent 41 mètres de surface de chauffe, soit à peu près autant que l'évaporation du jus lui-même. On voit immédiatement à quelles dimensions énormes on est conduit pour les appareils, du moment où l'on veut ajouter des proportions d'eau notables au jus que fournit la betterave.

En admettant les données qui précèdent, la surface de chauffe devra être de 46 + 41 ou 87 mètres superficiels.

La quantité de combustible consommée par l'appareil peut être évaluée facilement.

Avec les chaudières disposées comme il vient d'être dit, chaque kilog^e de houille ne peut évaporer que 6 k^os d'eau au plus, soit, pour 1387 k^os par heure, 230 k^os de houille environ, ou pour 24 heures une consommation de 5,500 k^os. D'autre part, les 1250 k^os d'eau à évaporer en plus par heure correspondent à 210 k^os environ de houille ou un peu plus de cinq tonnes par jour.

Les nombreux inconvénients du travail à feu nu ne tardèrent pas à faire adopter par les fabricants le chauffage à la vapeur. Les générateurs de vapeur peuvent en effet être disposés d'une façon plus rationnelle que les foyers précédents et peuvent utiliser jusqu'à 70 ou 75 % de la chaleur théorique développée par la combustion. D'autre part, le chauffage à la vapeur supprime tous les foyers accessoires et permet de régler instantanément la mise en marche ou les arrêts de chaque appareil.

Les chaudières ou bassines d'évaporation dans lesquelles le chauffage se fait à la vapeur peuvent être de construction très-diverse. La plus employée, qui porte le nom de Hallette, consiste en une cuve cylindrique de faible hauteur, au fond de laquelle est ménagé un serpentin en cuivre recourbé en spirale. La vapeur arrive dans l'intérieur de ce serpentin à une pression de trois atmosphères environ; elle s'y condense en déterminant l'ébullition du liquide sucré qui remplit la chaudière et dont les vapeurs sont enlevées par le manteau d'une cheminée disposée au-dessus de l'appareil. Lorsque le jus a atteint le degré de concentration voulu, l'ouvrier supprime l'admission de vapeur, fait écouler le sirop par le robinet de vidange de façon à recommencer immédiatement l'évaporation d'une nouvelle quantité de liquide.

Ces sortes de chaudières se construisent d'ailleurs, soit avec un seul serpentin, soit avec deux, rondes, carrées ou allongées (système Pecqueur et Crespel). Bien que chacune de ces modifications soit considérée comme essentielle par son inventeur, dans tous les systèmes la quantité de travail fournie est proportionnelle à la surface de chauffe et à la température de la vapeur employée, ou mieux à l'excès de la température de cette

vapeur sur celle du liquide. Il importe seulement, pour assurer un rendement convenable, qu'on ne laisse pas s'accumuler sur la surface du serpentin les dépôts provenant des jus chargés de chaux: ces dépôts réduisent en effet dans une forte proportion la transmission de la chaleur. Aussi, doit-on fréquemment nettoyer la surface des serpentins pour leur conserver le plus grand pouvoir d'évaporation possible. Ce nettoyage se fait généralement avec de l'acide chlorhydrique étendu.

D'après mon expérience personnelle, pour une mise en œuvre journalière de 50,000 k^{os} de betteraves avec un rendement en jus de 82 % et sans addition d'eau à la râpe, un serpentin d'une surface de 19^{ms} suffit pour évaporer jusqu'à 40 % Balling (22° Baumé) la totalité du jus et des eaux de dégraissage.

Or, avec 41,000 k^{os} de jus à 10 % Balling, on obtient
10,250 k^{os} de sirop à 40%. On a donc à évaporer sur le jus 30,750 k^{os} d'eau, ci . . . . . 30,750 k^{os}

A ce chiffre il convient d'ajouter les eaux de dégraissage, soit deux fois le poids de noir employé, ci . . . . . 20,000 -

Le total de l'eau à enlever est donc de . . 50,750 k^{os}

Avec la surface de chauffe de 19^{ms}, c'est tout ce que l'on peut produire dans de bonnes conditions. Il en résulte que chaque mètre carré de surface de chauffe vaporise 2,671 k^{os} d'eau par jour, ou 112 k^{os} environ par heure, pour une différence de température de 140°—103° ou 37°.

Ce résultat est notablement moindre que les chiffres trouvés par Péclet et par Thomas et Laurens. Le motif en est que ces observateurs opéraient avec des appareils parfaitement nettoyés et sur de petites quantités, tandis que les nombres auxquels je suis arrivé représentent la moyenne d'un travail en grand. Le chiffre de 112 k^{os} correspond donc aux rendements habituels en industrie, et peut servir de base à peu près certaine dans tous les cas.

Etant donnée la quantité de jus et d'eaux de dégraissage à évaporer dans des conditions spéciales, on pourra, sans aucune difficulté, calculer la surface de chauffe de serpentins, en ad-

mettant une évaporation de 110 à 112 k^os par heure et par mètre carré, pour la différence de températures indiquée plus haut.

Le calcul du combustible à dépenser pour ce travail se fera d'ailleurs tout aussi aisément. On peut prendre comme effet utile 7^k,7 d'eau évaporée par kilog. de charbon, si les générateurs sont bien construits, s'ils ont une surface suffisante, si le feu est bien conduit, si les gaz ne s'échappent pas à une température trop élevée, si enfin les eaux de condensation reviennent à 100° dans la chaudière, de façon que toute la chaleur soit employée à la vaporisation.

En dehors des conditions qui précèdent et qui sont essentielles pour produire la vapeur économiquement dans les générateurs, on doit veiller à éviter toute perte inutile dans l'emploi de cette vapeur: à cet effet, il importe d'entourer les conduites allant aux appareils d'une enveloppe mauvaise conductrice de la chaleur. D'autre part, la vapeur ne doit quitter le serpentin qu'après lui avoir complètement abandonné sa chaleur. Les purgeurs automatiques dont il sera question plus loin permettent de réaliser cette condition spéciale.

Pour une mise en œuvre de 50,000 k^os de betteraves, le travail des chaudières d'évaporation exige environ 7 journées ½ d'ouvrier par 24 heures.

Bien que réalisant un progrès réel sur les appareils à feu nu, les chaudières à air libre dont nous venons de parler ne sont pas à l'abri de toute critique. Les jus sucrés, exposés à une température trop élevée, se colorent en brun, et, si la cuite est rapide, il se forme une croûte d'écumes considérable. On fut donc conduit à employer des appareils fermés. Au lieu de laisser échapper les vapeurs à l'air libre, on les enleva à l'aide de pompes à air, après les avoir condensées et ramenées à l'état liquide en les mettant en contact avec de l'eau froide.

Grâce à cette disposition, l'ébullition se produit à une température assez basse pour que le sucre ne souffre aucune altération et, en même temps, la différence entre la température de la vapeur et celle du liquide étant plus considérable, on obtient, à surface de chauffe égale, plus d'effet utile.

On a souvent dit, au sujet de ces appareils d'évaporation dans le vide, que la température y était trop basse pour que la chaux pût détruire les matières organiques du jus. Ce reproche n'est nullement fondé, car l'eau résultant de la con-

Fig. 143.

Original v. Waltkoff

densation des vapeurs renferme toujours de l'ammoniaque, et cette ammoniaque ne peut provenir que de la décomposition des principes organiques.

Ainsi que nous l'avons dit, on se sert d'une pompe à air pour retirer l'eau produite par la condensation des vapeurs. Mais on peut aussi faire écouler naturellement cette eau condensée par un tuyau: il suffit que ce tuyau ait plus de $10^m,33$ et plonge à la partie inférieure dans un réservoir d'eau.

Dans son traité de la chaleur (page 1411, tome 2, 1860), Péclet indique que MM. Trappe et Souvoir-Gaspard avaient proposé de donner au condenseur une hauteur de 10 mètres en le faisant déboucher dans un vase formant cuvette, mais que ces appareils n'ont pas été appliqués.

Il suffit, pour réfuter ces assertions, de se reporter à la fig. 143 ci-contre qui représente la disposition adoptée d'une manière générale en Allemagne et depuis longues années: on y applique pour la condensation la principe du baromètre, et on n'a besoin que de ce que l'on appelle une pompe à air sêche.

Les vapeurs provenant de l'ébullition des jus se rendent par le tuyau dd' dans le condenseur m où elles doivent se liquéfier au contact de l'eau froide. Celle-ci arrive en b dans l'espace annulaire formé par l'enveloppe extérieure et un cylindre intérieur; elle passe par dessus les bords de ce cylindre et coule uniformément en $b'b'$. De là l'eau tombe sur les plaques m et n qui la divisent plusieurs fois de façon à lui permettre d'absorber la plus grande quantité possible de chaleur. Enfin, l'eau chaude s'écoule d'elle-même par le large tuyau a. Ce tuyau plonge par son extrémité inférieure dans une cuve à eau c et forme un véritable baromètre à eau dans lequel les liquides ne peuvent élever, en vertu de la pression atmosphérique extérieure qu'à une hauteur de $10^m,33$ au maximum. La colonne d'eau ne pourrait du reste atteindre cette hauteur de 10^m en a que si le vide en $b'b'$ dans le condenseur était complet. Cette condition n'étant pas réalisée en général, l'eau ne s'élève en a qu'à une hauteur moindre, mais néanmoins, dans la pratique, il est prudent, si l'on veut se mettre à l'abri de toute éventua-

lité fâcheuse, de donner au tuyau *a* la hauteur théorique. L'espace qui se trouve au-dessus de *b' b'* et où s'effectue la condensation est mis en communication par le tuyau *e'* avec une pompe à air destinée à retirer l'air et les vapeurs non condensées. La distance entre les niveaux *b'* et *e* n'a d'ailleurs pour but que d'empêcher les gouttes d'eau d'être entrainées dans la pompe à air. — Quant aux vapeurs produites par les jus, elles arrivent en *d* et débouchent par le tuyau *d'* dirigé vers le bas, de façon à se trouver en contact d'une manière aussi intime que possible avec l'eau qui doit les condenser. Les produits de la condensation tombent dans le tuyau *a* par lequel s'écoule d'elle-même toute l'eau qui vient en excédant de la hauteur de 10^{m}. Cet écoulement se fait donc sans aucun appareil mécanique, en vertu des seules lois de la pesanteur.

Cette disposition extrèmement simple offre de très-réels avantages.

La pompe à air dépense un travail mécanique beaucoup moindre que la pompe des autres dispositifs, qui doit enlever à la fois l'air et la totalité de l'eau de condensation. D'un autre côté, dans l'appareil à colonne barométrique l'eau n'arrive jamais dans la pompe, tandis que pour les autres, la quantité considérable d'eau qui y passe à une température élevée donne lieu à des dépôts qui entrainent des nettoyages fréquents des divers organes et par suite des perturbations dans le travail. En employant une pompe à air sèche, le seul danger à courir est qu'il se forme une croute sur le tuyau *b'* et le nettoyage de cette pièce n'offre aucune difficulté.

Il est vrai qu'en employant l'appareil décrit plus haut, il faut élever à 10 mètres de hauteur environ et avec une pompe à eau spéciale toute l'eau employée à la condensation, tandis que cette nécessité n'existe pas d'une manière aussi absolue avec les condenseurs ordinaires, mais ce n'est là qu'un détail insignifiant et qui n'empêche pas l'installation d'être beaucoup plus économique et plus solide que les autres.

Ce dispositif offre d'ailleurs l'avantage qu'on peut faire varier à volonté la quantité d'eau employée pour la condensa-

tion, puisque cette eau s'écoule d'elle-même, tandis qu'avec les pompes à air et à eau, il faut, si l'on veut obtenir une condensation plus complète des vapeurs, dépenser un travail supplémentaire proportionnel à l'augmentation dans l'injection de l'eau.

Quel que soit le mode de condensation adopté, on ne saurait arriver à ramener à l'état liquide la totalité des vapeurs produites par le jus. Le condenseur reste toujours rempli de vapeurs à une tension plus ou moins faible et dont la liquéfaction est difficile, d'un côté par suite de leur faible excès de température sur celle de l'eau, de l'autre par suite du volume considérable qu'elles occupent. Ainsi, un gramme de liquide donnant à 90° et à une pression de 525^{mm} 2366 centim. cubes de vapeur, en produira 7670, à la température de 60° et à la pression de $148^{mm},8$. Or, la pompe à air aura beaucoup moins de peine à enlever les 2366 cent. cub. dans le premier cas que 7670 dans le second. Aussi, lorsqu'on emploie des pompes trop faibles, l'évaporation se fait à une température plus élevée et plus lentement que si l'appareil est muni de pompes plus puissantes, capables d'enlever des volumes de vapeurs plus considérables.

J'ai trouvé, d'après une longue expérience, que les dimensions des pompes à air devaient être proportionnelles à la quantité de jus à évaporer, c'est-à-dire au poids des betteraves travaillée journellement, et que l'on obtenait de bons résultats en donnant au piston de la pompe 1 décim. carré par 5000 k^{gr} de betteraves mises en œuvre chaque jour.

On voit d'ailleurs qu'à dimensions égales la pompe sèche, n'ayant à enlever que les vapeurs partiellement refroidies et l'air renfermé dans l'eau, remplira ce but beaucoup plus facilement que la pompe à air et à eau qui a en outre à enlever toute l'eau condensée.

J'ai réuni dans le tableau ci-dessous les données relatives à la force élastique, à la densité et au volume des vapeurs pour les diverses températures. Les chiffres de la dernière colonne indiquent en centimètres cubes le volume occupé par

1 gramme de vapeur d'eau saturée aux températures correspondantes:

Températures.	Force élastique en millimètres de mercure.	Densité.	Volume.
— 10°	2,1	0,00000232	431607
— 5	3,1	325	307546
0	4,6	491	203521
+ 5	6,2	682	146528
10	8,5	0,00000945	105830
15	12,7	1289	77572
20	17,4	1731	57767
25	23,5	2300	43473
30	31,5	0,00003044	33613
35	41,8	3958	25264
40	54,9	5118	19537
50	92,0	8314	12030
60	148,8	0,00013038	7670
70	233,0	19378	5160
80	354,6	29315	3411
90	525,4	42258	2366
100	760,0	0,00059470	1681
120	1.491,3	105764	945
160	4.651,6	313690	317
180	7.646,4	492866	203
200	11.688,9	721669	140
230	20.926,4	0,01215790	82

A côté des avantages qu'offre l'évaporation dans le vide avec des vases fermés, il convient de citer les inconvénients de ce système, notamment l'entrainement du liquide sous forme de bulles. On sait que, quand on maintient un liquide en ébullition, les vapeurs entraînent avec elles des gouttelettes liquides et, dans le cas particulier, cet entraînement correspond à des pertes en sucre ainsi que Schatten l'a vérifié par des expériences précises. C'est un fait qu'il est d'ailleurs facile de constater: si l'on évapore à siccité une certaine quantité d'eau de condensation, et si l'on fait fondre par la chaleur le résidu, il se développe une odeur caractéristique de caramel ou sucre brûlé. On peut recueillir également une certaine quantité des

vapeurs dans un petit serpentin, et soumettre le liquide ainsi obtenu à un essai au polarimètre.

Pour obvier à la perte de sucre provenant de ce chef, j'ai imaginé une colonne de sureté dont la fig. 144 ci-contre

Fig. 144.

reproduit la disposition. En sortant de l'appareil de concentration, les vapeurs arrivent par le conduit *u* dans la colonne *w* au milieu de laquelle se trouve un tuyau y ouvert à la partie inférieure. Ce tuyau *y* dirige les vapeurs soit à la condensation sèche, soit dans tout autre appareil liquéfacteur disposé dans

ce cas immédiatement à côté de la pompe à air. Les vapeurs sont obligées de changer de direction pour rentrer dans le tube *y* par sa section inférieure. Dans ce trajet, elles rencontrent

Fig. 145.

encore la pièce *x* disposée en spirale et, en vertu de la force centrifuge ainsi développée, elles abandonnent les particules de jus qu'elles pourraient avoir entrainé. Les liquides séparés se

rassemblent à la partie inférieure dans un récipient w' et peuvent être recueillis à l'aide du robinet z.

Pour quiconque a eu occasion d'étudier les anciens dispositifs sous leur forme rudimentaire, il est évident que la colonne de sureté dont je viens de donner la description et dont j'ai imaginé le dispositif offre contre les pertes de sucre des garanties infiniment plus grandes que les systèmes employés jusqu'ici.

La fig. 145, qui représente en plan la colonne de sûreté, indique en même temps un second dispositif complémentaire ménagé dans le dôme x de l'appareil d'évaporation. Les vapeurs, arrivant en u' dans ce dôme, y rencontrent une pièce c laquelle présente deux fentes allongées c' formées par des tôles disposées en demi-cercle. Elles sont ainsi obligées de suivre la direction des flèches pour arriver au tuyau u. Comme d'ailleurs les rayons de courbure de ces conduits sont très-faibles il se développe encore là une force centrifuge en vertu de laquelle les particules liquides se séparent pour retourner par les trous b et b' dans l'appareil évaporatoire.

La rapidité de l'évaporation, dans les appareils que nous venons de décrire, dépend essentiellement, comme nous l'avons déjà dit, de l'effet utile de la pompe à air et de la quantité d'eau de condensation injectée dans l'appareil. Elle dépend également des dimensions données à la surface de chauffe. On peut admettre qu'un mètre carré de surface de chauffe dans ces appareils évapore 190 k^{os} d'eau par heure. Par suite, dans l'exemple que nous avons déjà cité, si l'on a à évaporer par heure 1387 k^{os} d'eau pour les jus, et 1250 pour les autres produits, il faudra, pour la première quantité, donner à l'appareil d'évaporation une surface de chauffe de $\frac{1387}{190}$ soit 7^{mq},3 environ, pour la seconde $\frac{1250}{190}$ ou 6^{mq},6, soit au total 13^{mq},9.

Quant à la quantité de combustible nécessaire pour l'évaporation, elle est, en y comprenant le travail de la pompe à air; à peu près identique à la dépense des chaudières à l'air

libre avec serpentin, c'est-à-dire qu'un kilogramme de charbon évapore de 7k,5 à 7k,7 d'eau prise à la température de 100°.

Fig. 146.

Cette consommation de charbon pour l'évaporation constitue dans les fabriques une dépense considérable, et, depuis long-

temps, on s'est préoccupé d'utiliser pour les appareils d'évaporation la vapeur qui avait déjà servi à d'autres usages. L'effet de la vapeur, comme moyen de chauffage, tient en effet principalement à la chaleur latente qu'elle abandonne en passant à l'état liquide; dès-lors, on peut substituer dans les chauffages, sans grande différence, à la vapeur directement sortie des chaudières, celle qui a déjà produit un travail mécanique dans les machines motrices.

Il est vrai, qu'en sortant des machines sans condensation où elle a été utilisée comme force motrice, la vapeur a perdu une partie de sa pression initiale, mais comme, à poids égal, elle renferme toujours et peut abandonner sensiblement la même quantité de chaleur, il est clair que, sauf à augmenter les surfaces de chauffe, on peut en obtenir des effets identiques. Comme, en réalité, il faudrait toujours produire de la vapeur pour actionner les machines motrices, on peut dire sans erreur sensible que l'évaporation des jus avec cette vapeur, si on en a une quantité suffisante à sa disposition, ne coûte rien.

Les appareils construits dans le but d'utiliser la vapeur détendue ont généralement la disposition indiquée dans la fig. 146 ci-contre. *fff* sont les serpentins en cuivre, dans lesquels la vapeur sortant des machines arrive en *f'*. L'eau provenant de la condensation est extraite en *g* par une pompe, par des purgeurs automatiques ou toute autre disposition analogue.

Sur le tuyau qui amène la vapeur aux serpentins est une soupape de sûreté que l'on charge suivant la pression laissée à la vapeur et le degré de détente des machines. Cette pression est d'habitude de $1^k,4$ à $1^k,5$ par centim. carré de surface de la soupape. Dans ces conditions, si l'appareil évaporatoire ne condense pas avec une rapidité suffisante les vapeurs qui lui sont fournies, la pression s'élève dans le tuyau, la soupape se soulève sur son siège et permet l'échappement de la vapeur, de façon que la machine reste toujours dans des conditions de marche normales. En outre, on dispose souvent sur le tuyau d'arrivée des réservoirs de vapeur sur lesquels on fixe la sou-

pape. Cette complication me parait d'une utilité contestable, car la vapeur sous cette pression prend, d'après Péclet, une vitesse de 266^{m} par seconde, et elle occupe d'ailleurs un volume trop considérable (1200 fois environ celui de l'eau), pour que le réservoir fonctionne réellement comme régulateur.

Si l'on veut retirer l'eau qui s'est condensée dans le trajet de la machine aux appareils, il suffit de disposer sur le tube un syphon renversé de très-petit diamètre et dont la grande branche ait une hauteur suffisante pour que l'eau y fasse équilibre à la tension de la vapeur.

Le jus à évaporer peut couler directement des filtres dans les caisses d'évaporation par un tuyau de raccordement. Après concentration, il est repris en *k*, par un monte-jus ou une pompe et renvoyé aux réservoirs qui alimentent les filtres.

Les vapeurs qui se dégagent des jus pendant l'évaporation montent par le tuyau *d* au condenseur dont nous avons déjà expliqué la disposition et l'effet.

L'appareil comporte en outre des verres ou lunettes, pour surveiller le niveau du liquide dans les caisses et la marche de l'évaporation; un robinet d'épreuve, pour retirer un peu de jus et mesurer son degré de concentration; un thermomètre et un baromètre, destinés à accuser la température et le degré du vide dans la caisse. Ces détails ne se trouvent pas représentés dans la figure ci-dessus.

Les appareils que nous venons de décrire sont simples, solides et d'un service facile; leur prix est peu élevé et ils sont très-puissants. Il est d'ailleurs facile de calculer la surface de chauffe nécessaire pour un travail donné, en admettant que chaque mètre évapore 50 kilog^{es} d'eau par heure.

Si l'on a, comme dans l'exemple déjà cité, à évaporer par heure 1387 k^{os} de jus et 1250 k^{os} d'eau de dégraissage, il faudra, pour la première quantité $\frac{1387}{50}$, pour la seconde $\frac{1250}{50}$, soit en tout 52 mètres carrés, en admettant une dif-

férence de 35° entre la température de la vapeur et celle du liquide en ébullition (110°—75°).

On pourrait d'ailleurs augmenter dans une notable mesure le rendement de ces appareils, en fournissant à la vapeur une nouvelle quantité de chaleur sans augmenter sa tension, c'est-à-dire en la surchauffant dans son trajet entre les machines motrices et les appareils d'évaporation. Cette idée est si simple que je m'étonne qu'elle ne soit pas entrée depuis longtemps dans la pratique. D'ailleurs, ce supplément de chaleur pourrait être emprunté sans frais aux gaz provenant du foyer des générateurs, gaz qui, dans les cas les plus favorables, ont encore une température de plus de 250° au moment où ils arrivent à la cheminée. La vapeur détendue des ballons de retour n'a qu'une température de 110°; on dispose par suite d'une différence de 140°. Or, si on supposait seulement que la vapeur se surchauffât de 15°, elle agirait dans les caisses d'évaporation avec une différence de température de 50° au lieu de 35°, et, dans ces conditions, pourrait évaporer au moins 70 k^os d'eau par heure et par mètre carré. Les appareils rendraient donc de 1/6 à 1/5° en plus d'effet utile. Pour réaliser ce perfectionnement, il suffirait, au lieu de disposer les ballons de retour près des appareils à évaporer en se bornant à les protéger contre le refroidissement extérieur, de les placer dans les carneaux des générateurs ou au pied de la cheminée et de leur donner la plus grande surface possible. Non seulement on préviendrait ainsi toute déperdition par rayonnement, mais les gaz du foyer cèderaient à la vapeur une partie de leur chaleur perdue. On comprend immédiatement que ce dispositif, en faisant rendre plus de travail aux appareils, amènerait une sérieuse économie, tant dans l'installation que dans les dépenses journalières.

Il nous reste à évaluer la quantité de vapeur détendue dont on peut disposer dans une fabrique de sucre, et par suite la quantité de jus que l'on peut évaporer à l'aide de cette vapeur. Nous supposerons, comme nous l'avons toujours fait, que l'usine travaille 50,000 k^os de betteraves par jour; comme

d'ailleurs la force motrice est proportionnelle aux quantités mises en œuvre, il sera facile d'étendre le calcul à une fabrique quelconque.

Une pareille usine exige comme force motrice: pour le lavage des betteraves, 2 chevaux vapeurs, pour l'alimentation du laveur 0^{m},8, soit, si . . . . . 2^{chev},8

Pour la râperie . . . . . 9 ,2

Pour les presses hydrauliques . . . . . 6 ,0

Pour les pompes à air des appareils d'évaporation et de cuite (3), pour élever les eaux de condensation (4,5), pour la pompe à acide carbonique (0,5), pour les pompes alimentaires (1), soit . . . 9 ,0

Pour les turbines . . . . . 6 ,0

Soit en tout . . . 33^{chev},0

Si les appareils sont bien conduits, on peut admettre, avec des machines sans condensation et à faible détente, une consommation de 30 k^{os} de vapeur par heure et par force de cheval, soit au total 30 × 33 ou 990 k^{os} de vapeur, pouvant évaporer la même quantité de jus. Or, d'après les calculs déjà donnés plus haut, l'évaporation des jus pour les transformer en sirop, exige dans une pareille fabrique l'évaporation de 1387 k^{os} d'eau par heure. Il restera donc à évaporer par la vapeur directe 397 k^{os}, ce qui représente à raison de 7^{k},5 de vapeur par kilog^{e} de houille une dépense de 55 k^{os} environ de charbon par heure. C'est ce chiffre qui exprime les frais réels d'évaporation du jus. Comme d'ailleurs, en surchauffant la vapeur, on peut lui faire fournir en plus la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer les 397 k^{os} qui restent, on peut dire, sans erreur sensible, que l'évaporation des jus n'exige aucune dépense spéciale de combustible.

Dans ces conditions, il ne resterait à évaporer par la vapeur directe que les 1250 k^{os} d'eau de dégraissage des filtres et en résumé l'utilisation de la vapeur détendue des machines correspondrait dans ce cas à une économie de plus de moitié sur les frais d'évaporation.

Néanmoins, on fut bientôt amené à chercher si l'on ne pourrait pas utiliser les vapeurs elles-mêmes qui se dégagent des jus dans leur évaporation pour évaporer une nouvelle quantité des liquides. D'après Péclet, Pecqueur aurait émis, dès 1829, la première idée de cette utilisation multiple de la chaleur, mais les premiers essais entrepris dans ce sens ne furent pas très-heureux. Plus tard, Derosne et Cail construisirent leur appareil bien connu de concentration : les vapeurs provenant, soit de la cuite, soit de l'évaporation, se rendaient dans un système tubulaire et échauffaient en le concentrant le jus à évaporer qui arrivait sur la surface de ces tuyaux; en même temps qu'on utilisait ainsi une partie de la chaleur des jus, on supprimait pour la condensation des vapeurs l'emploi de l'eau.

On chercha à réaliser des effets analogues en faisant tomber le jus à concentrer sur des surfaces coniques ou des tuyaux dans l'intérieur desquels on dirigeait la vapeur des appareils. Mais, dans tous ces dispositifs, on cherchait à augmenter autant que possible le contact entre les jus et l'air, l'effet utile de l'appareil étant d'autant plus grand que le liquide arrivait en nappes plus minces. Malheureusement, ce contact avec l'air expose les dissolutions sucrées à des altérations, et ce motif a fait rejeter de la pratique tous les appareils fondés sur ce principe.

C'est à ce moment que Rillieux eût l'heureuse idée qu'il appliqua d'abord en Amérique d'employer les vapeurs des jus pour évaporer de nouveaux liquides dans le vide.

Les premiers appareils construits par Rillieux étaient munis d'une grande quantité de tuyaux disposés horizontalement comme dans les chaudières de locomotives. La vapeur détendue des machines, envoyée à un premier appareil, circulait dans l'intérieur des tuyaux entre lesquels se trouvait la dissolution sucrée. Les vapeurs produites par l'évaporation de ces jus passaient dans les tubes d'un 2e appareil analogue, également plein de jus et déterminaient l'évaporation à une pression moindre et par suite à une température plus basse. De la sorte, la vapeur, ou pour mieux dire la chaleur qu'elle renfermait, était utilisée

plusieurs fois. Dans les installations de Rillieux, cet effet se produisait jusqu'à 3 fois.

Nous devons dire, il est vrai, que les appareils construits par cet inventeur n'étaient pas à l'abri de toute critique, sans que celà du reste diminue en rien son mérite. Avec un grand nombre de tubes disposés parallélement, la vapeur ne se répartit que rarement d'une manière uniforme dans tous les tubes. D'autre part, il est difficile d'expulser entièrement l'air, et, comme l'air est mauvais conducteur de la chaleur, on perd sur la surface de chauffe toute la partie correspondant au volume qu'il occupe, de plus, les tuyaux soumis à des températures différentes se dilatent inégalement et perdent leur étanchéité aux joints. Ajoutons enfins que le nettoyage des appareils et l'enlèvement des dépôts calcaires que laissent les jus sont assez difficiles. On est forcé d'employer pour dissoudre les dépôts des acides étendus, remède fâcheux et devant lequel on recule par suite de l'action nuisible qu'exercent les acides sur le sucre.

Les appareils de Rillieux furent importés en Allemagne par Tischbein sous le nom duquel il sont souvent désignés.

Déjà, dans la première édition de cet ouvrage (1856) j'avais fait remarquer que dans l'appareil de Rillieux, la vapeur n'était utilisée que deux fois. Péclet, dans son traité des applications de la chaleur (1860), signale également ce fait en parlant du même dispositif: l'appareil, dit-il, se composait de trois caisses et les vapeurs de la première *A* se condensaient à la fois dans les deux autres *B* et *C*; ce n'est donc en réalité qu'un appareil à double effet. Pour qu'il fût à triple effet, il faudrait que les vapeurs pussent passer successivement de *A* en *B* et de *B* en *C*, disposition dont Péclet parait peu partisan.

Rillieux avait admis que les surfaces de chauffe devaient aller en augmentant à mesure que les vapeurs s'éloignaient de la 1re caisse, et, d'après lui, les températures d'ébullition devaient être de 100° dans la première, 65° dans la seconde, 45° dans la troisième. D'après Péclet, la surface de chauffe dans la première caisse étant 1, celle de la seconde était de 5,

celle de la troisième de 10. Or, en supposant que l'appareil travaillât avec de la vapeur directe des générateurs, on avait, comme différences de températures:

Dans la 1e caisse 130 — 100 ou 30°
- - 2e - 100 — 65 ou 35°
- - 3e - 65 — 45 ou 20°.

Les surfaces de chauffe devant être inversement proportionnelles à ces différences, on aurait dû avoir pour le rapport entre celles de la 2e et de la 3e caisse $\frac{20}{35}$ au lieu de $\frac{5}{10}$, comme l'avait supposé Rillieux.

On voit, d'après cette discussion, ajoute Péclet, que Rillieux, l'inventeur de l'appareil, ne s'était pas rendu un compte suffisamment exact des phénomènes de physique qui devaient se produire.

Du reste, les différences de température données ci-dessus sont beaucoup trop fortes, car, dans la pratique, on n'a à sa disposition que de la vapeur à 1 atmosphère ¼, c'est-à-dire à 108°, et l'ébullition se fait dans la 3e caisse à 70°, de sorte qu'on ne dispose en réalité que d'une différence totale de 38° qu'on répartit également, comme nous le verrons plus loin, entre les trois caisses. On peut donc admettre que, pour chaque caisse, la différence de température est de 13°. Or, ces différences étant les mêmes dans toutes les caisses, on voit que les surfaces de chauffe doivent aussi être les mêmes pour produire des effets égaux. C'est en effet le produit de la surface de chauffe par l'excès de température qui donne la mesure de l'évaporation, c'est-à-dire de l'effet utile.

Dans les calculs qui précèdent, comme aussi dans tout le reste de l'ouvrage, nous n'avons pas fait entrer en ligne de compte la chaleur spécifique propre des jus, car sa valeur est loin d'être constante avec les diverses compositions de jus, et nos calculs n'auraient pu avoir aucun caractère de généralité.

Dans l'appareil perfectionné par Tischbein, comme dans celui de Robert représenté dans les figures suivantes, les tuyaux par lesquels s'effectue la transmission de chaleur sont disposés

verticalement. Cette modification avait déjà été réalisée en 1834 dans la raffinerie de Ritter à Gœrz. Elle n'a donc rien de nouveau et on s'est borné à l'étendre plus tard aux fabriques de sucre de betterave. Ce dispositif offre l'avantage que les

Fig. 14

dépôts laissés par le jus dans les tuyaux peuvent s'enlever à l'aide d'une lame courbe, à extrémités arrondies, qu'on monte sur une longue tige. En revanche, l'espace qui entoure ces tuyaux et dans lequel circule la vapeur ne peut être qu'incomplètement purgé d'air. Quand on chauffe, cet air empri-

sonné augmente de volume, et, par suite de sa faible conductibilité, réduit la surface de chauffe utile. Du reste, aucune disposition qui je sache ne remédie complètement à cet inconvénient. On peut seulement l'atténuer en ménageant à la partie supérieure de la boîte à vapeur un ou plusieurs robinets de purge qui assurent la sortie de l'air. Mais l'inconvénient le plus sérieux du dispositif qui précède c'est le grand nombre

Fig. 148.

d'assemblages qu'il comporte et qui en élèvent le prix tout en le rendant moins solide. La même observation s'applique du reste à tous les appareils dans lesquels on emploie les tubes verticaux, comme ceux de Robert, de Cail, etc. Dans ces derniers, un trou d'homme ménagé, soit latéralement, soit sur le couvercle, rend les nettoyages plus faciles, un peu aux dépens de la question d'aspect général.

Parmi les types nombreux d'appareils qu'on a successivement préconisés, ceux de Robert ont pendant un certain temps été considérés comme les meilleurs, jusqu'au moment où des dispositifs préférables les firent abandonner à leur tour. Aujourd'hui cependant, la maison Cail-Hallot ne construit encore que ce type. La fig. 147 représente la vue d'ensemble de ces appareils, la fig. 148 une coupe verticale.

Les jus étendus sont amenés du réservoir *a* dans la 1re caisse; ils passent de là par *b* et *c* dans la seconde, par *d* et *e* dans la troisième; enfin, parvenus au degré de concentration voulu, ils arrivent par le tuyau *f* au monte-jus *g*.

h tuyau pour la vidange complète des diverses caisses.

i tuyau pour faire le vide dans le monte-jus *g*.

La vapeur détendue des machines arrive dans les appareils par le robinet à soupape *k* et en sorte d'elle-même en *k'* à l'état d'eau chaude de condensation.

l m, tuyaux d'écoulement des vapeurs condensées, qui arrivent en *n* au condenseur ou sont extraites par une pompe spéciale.

o tuyau d'injection d'eau.

q tuyau conduisant l'eau chaude de condensation à la pompe à air.

p tube de niveau pour constater la hauteur des jus dans l'appareil.

r dispositif permettant de prélever un échantillon du jus pour mesurer à l'aréomètre son degré de concentration.

s lentilles pour observer l'ébullition.

t robinet à graisse, *t'* robinet à air pour la purge.

u thermomètre.

v baromètre.

x indicateur de niveau dans les colonnes.

y trou d'homme.

z tuyau pour faire écouler les liquides dont la concentration a été poussée un peu trop loin.

Dans ces appareils, on emploie la vapeur détendue des machines et naturellement cette vapeur doit avoir une pression

et par suite une température assez basses pour que les machines marchent dans des conditions normales. La vapeur sortant du cylindre arrive en *k* dans l'espace vide de la 1re caisse, enveloppe les tuyaux sur une surface considérable, leur cède sa chaleur latente, se condense et s'écoule à l'état liquide par un purgeur automoteur en *k'* pour revenir aux ballons de retour d'eau.

La vapeur qui sort des machines a environ 107°, et les jus qui circulent dans les tubes de l'appareil arrivent à l'ébullition en lui empruntant sa chaleur; les vapeurs que donne le liquide sucré, et dont la température est de 97°, par exemple, passent, en suivant la direction des flèches, dans la boite à vapeur de la seconde caisse. Là, elles produisent exactement le même effet que la vapeur des machines dans la première. Les jus de la seconde caisse entrent à leur tour en ébullition à une pression moins forte et à une température plus basse, 85° par exemple.

Mais le jus de la seconde caisse, en s'évaporant, enlève leur chaleur aux vapeurs qui provenaient des liquides de la première. Ces vapeurs doivent donc se condenser à leur tour et revenir à l'état liquide. On voit que la seconde caisse agit par rapport à la première comme un condenseur à surface, dans lequel le jus à une température inférieure a pris la place de l'eau.

L'effet produit est donc exactement le même qu'avec le serpentin de Derosne (voir plus haut) baigné par le jus; seulement, dans le cas actuel, l'appareil est modifié de façon que travail s'effectue dans le vide à une température inférieure à 100°.

Les vapeurs condensées dans les caisses sont, comme celles des appareils de Derosne ou de Pelletan, extraites en *l* par une pompe spéciale mue mécaniquement.

Les vapeurs produites par les jus de la seconde caisse et qui ont la même température que le liquide d'où elles proviennent (85°), suivent à leur tour la direction marquée par les flèches et se rendent dans la boite à vapeur de la 3e caisse

où elles déterminent l'ébullition des jus sous une pression et à une température encore moins élevées (62° environ). La 3e caisse formant par rapport à la 2e un condenseur réel, les vapeurs s'y condensent. Mais, dans un vase fermé, les vapeurs ne peuvent pas se condenser sans qu'il en résulte une diminution de pression. Il suit de là que la pression doit diminuer dans la seconde caisse et il est facile de voir que toutes les parties de l'appareil à triple effet se mettent d'elles-mêmes en équilibre. En effet, une ébullition plus active dans l'une des caisses a pour conséquence une condensation plus forte des vapeurs de la caisse précédente, et, par cela même, une ébullition plus active aussi dans cette dernière.

Inversement, une évaporation plus forte dans la 1re caisse détermine la formation d'un excès de vapeurs; par suite, la 2e et la 3e caisse doivent également bouillir plus vite, puisque les vapeurs qui déterminent cette ébullition ont une température et une pression d'autant plus fortes qu'elles sont moins condensées.

Enfin, pour terminer ce qui regarde la circulation des vapeurs, celles qui se condensent dans la 3e caisse font retour par *m* à la pompe, celles qui se développent dans la 3e caisse arrivent au condenseur, où elles rencontrent l'eau injectée par le robinet *o* et où elles se condensent immédiatement pour être extraités en *q* par la pompe à air.

Autrefois, on faisait arriver directement dans le condenseur les tuyaux *l* et *m*, mais, dans ces conditions, le condenseur recevait, sans être condensées, une partie des vapeurs des deux premières caisses, ce qui constituait une perte dans leur utilisation; d'autre part, tout en injectant en plus dans le condenseur une quantité d'eau proportionnelle à cette vapeur, on n'arrivait pas à y maintenir une pression aussi faible. Enfin, les dépôts incrustants, tant dans les tuyaux que dans les pompes, étaient beaucoup plus considérables, ce qui entrainait des désagréments nombreux, des nettoyages et des arrêts plus fréquents. On a cherché à expliquer la formation de ces dépôts par une action de l'ammoniaque des vapeurs du jus sur les principes calcaires de l'eau. Quoiqu'il en soit de cette

explication, c'est un fait que les incrustations sont beaucoup plus fortes dans les appareils où l'on relie directement les tuyaux *l* et *m* au condenseur que dans ceux où l'on fait usage d'une pompe d'appel spéciale. Ce dernier dispositif se nettoie facilement et permet de vérifier si, par suite d'un défaut dans les assemblages, il ne passe pas de sucre dans les eaux condensées. Aussi, ces pompes spéciales sont-elles aujourd'hui installées dans presque toutes les fabriques bien montées et munies d'appareils à triple effet.

[Cette vérification peut d'ailleurs se faire d'une manière très-simple; il suffit d'installer une série d'éprouvettes qui permettent de prélever une certaine quantité d'eau de condensation dans les boîtes à vapeur des différentes caisses. Ces éprouvettes sont disposées exactement comme celles à l'aide desquelles on prélève du sirop dans les caisses pour en vérifier la densité. Le triple effet étant en charge, et au repos, la moindre fuite envoie aux éprouvettes un liquide sucré. Il se forme dans les appareils évaporatoires des dépôts calcaires de n suivant la composition des jus et qui nécessite nettoyages. Des lavages à la soude ou a l'acide permettent de se débarrasser rapidement des d et des dépôts calcaires proprement dits. Quant au matières inattaquables par les alcalis ou les acides, il faut gratter les tubes pour les expulser.

Les fabriquants belges et hollandais ont recours, pour éviter ces incrustations, à une sorte d'évaporation préparatoire, désignée généralement sous le nom d'ébullition calcique, qui se fait dans une chaudière spéciale.[1] Les dépôts s'amassent dans cette chaudière qui est d'un nettoyage facile. De plus, on chasse ainsi une bonne partie des vapeurs ammoniacales. En faisant usage d'appareils clos ou pourrait encore recueillir cette ammoniaque dont la production est assez importante.]

Lorsque l'appareil marche d'une façon continue, le jus à concentrer arrive en *a* dans la 1re caisse et en *b* et *c* dans la

1) Journal des fabricants de sucre.

2e; il circule dans des tuyaux enveloppés de vapeur, arrive en *d e* dans la 3e caisse et de là, concentré à 50 % Balling par exemple, passe au monte-jus *g* en communication par le robinet *i* avec la dernière caisse. Aujourd'hui, et suivant une indication que j'avais donnée il y a longtemps déjà, les jus ne circulent plus de bas en haut comme autrefois, mais on amène les jus les moins denses par la partie supérieure, les liquides plus concentrés s'écoulant par le bas.

L'emploi des appareils à triple effet permet de réduire la quantité d'eau nécessaire à la condensation au tiers de ce qu'il faudrait avec les appareils simples, et c'est un point important dans les localités où l'on manque d'eau. Du reste, cet avantage se retrouve naturellement dans tous les appareils, à quelque type qu'ils appartiennent, où la vapeur travaille à double ou à triple effet. L'économie d'eau ne résulte en aucune sorte du mode de disposition des tuyaux, mais uniquement de l'utilisation multiple de la chaleur. Ainsi, dans le mode de construction plus perfectionné dont il sera question plus loin, l'on obtient comme dépense d'eau des résultats incontestablement meilleurs qu'avec les appareils à tuyaux verticaux que nous venons de décrire, l'utilisation de la vapeur s'y faisant dans de meilleures conditions.

Un autre avantage qu'on ne saurait trop apprécier avec les appareils à effet multiple, c'est la rapidité et la continuité du travail. Le jus, au sortir des filtres, coule directement aux caisses d'évaporation et s'y concentre dans un temps très-court. Il ne se refroidit donc pas dans l'intervalle et se trouve soustrait à l'influence nuisible de l'air. La nécessité d'envoyer le jus à l'évaporation dès qu'il est filtré rend le travail plus régulier et plus rapide. D'autre part, la marche continue des appareils épargne du travail, car il suffit de suspendre l'évaporation une fois par 24 heures, de vider rapidement les caisses et de les nettoyer à la vapeur. Dans ces conditions, on n'a pas à craindre le mélange des jus trop anciens avec les nouveaux et on se met à l'abri de tout danger de fermentation.

C'est ici le lieu de signaler, pour compléter la description des appareils, une disposition que j'ai trouvée appliquée en 1869 à la fabrique de Kapitanofka et qui permet de contrôler la marche du travail dans chacune des parties de l'appareil. A la partie inférieure de chacune des caisses on installe de petits réservoirs fermés, analogues aux monte-jus, communicant avec les tuyaux *k' l* et *m* de chaque caisse et qu'on peut également mettre en communication avec les pompes, de façon à ce que celles-ci puissent aspirer dans ces vases soit par le haut soit par la partie inférieure.

Chacun de ces réservoirs est muni d'un tube indicateur de niveau sur toute sa hauteur: l'indicateur est gradué et indique la contenance en litres du réservoir pour chaque hauteur. Pour contrôler la marche d'une caisse, il suffit d'enlever l'eau du réservoir à l'aide des pompes, puis de fermer le robinet de communication, de façon que les pompes ne fonctionnent plus pendant l'essai. Les eaux de condensation arrivent dans le vase, et on connait par suite la quantité d'eau condensée dans un temps donné, ou la quantité vaporisée. Cette disposition permet d'ailleurs de contrôler la pureté de l'eau et l'étanchéité des joints, soit par la simple couleur du liquide, soit en essayant un petit échantillon. Péclet, dans sa dernière édition (1860 t. 2, page 250), signale un dispositif analogue comme appliqué par Pecqueur en France.

Nous ajouterons enfin que, dans ces derniers temps, on s'est préoccupé de réchauffer le jus à sa sortie des filtres et avant son entrée dans les appareils de concentration, de façon à ce que toute la chaleur fournie dans les caisses soit uniquement employée à l'évaporation. Ce réchauffement préalable des jus s'effectue à l'aide de la vapeur de retour qu'on fait circuler autour des tuyaux ou de tout autre manière.

[La disposition adoptée par MM. Cail et C^ie^ consiste à placer un appareil tubulaire entre la pompe à air et la troisième caisse du triple effet. Les vapeurs de cette caisse entourent les tubes dans lesquels circule le jus à réchauffer et s'y condensent en partie de sorte que, par suite, l'injection

d'eau peut être notablement diminuée un tel réchauffeur donne en général des jus à 30 ou 35°.]

Les eaux provenant de la condensation des vapeurs ou extraites par les pompes de vide sont très-riches en ammoniaque, et par suite on les utilise avantageusement, lorsqu'elles sont refroidies, pour le lavage des sacs à pulpe de la râperie ou pour celui du noir. Mais cette ammoniaque a l'inconvénient d'attaquer vivement les tuyaux de la 2e et de la 3e caisse, de les manger, suivant l'expression des ouvriers; dans certaines conditions, cette attaque peut même devenir une source d'embarras pour une fabrique. Je m'étonne que, pour remedier à cet inconvénient bien connu, on n'ait pas cherché à arrêter l'ammoniaque dans le passage des vapeurs d'une caisse à la suivante. On éviterait ainsi toute cause d'usure, et l'on obtiendrait un engrais précieux pour la terre. Le choix de la substance absorbante ne saurait d'ailleurs offrir aucune difficulté. On pourrait, par exemple, prendre de l'aide sulfurique, et il suffirait de le disposer de façon à ce qu'il offrît au gaz une large surface absorbante. Ce ne serait du reste qu'une imitation des procédés souvent employés dans l'agriculture. Ainsi, beaucoup de cultivateurs suspendent dans les bergeries des vases pleins d'acide sulfurique, de manière à fixer l'ammoniaque qui se dégage.

Aujourd'hui, pour prévenir cette action de l'ammoniaque sur le cuivre, on recouvre les tuyaux d'une couche de zinc qui, s'oxydant plus vite que le cuivre, protège ce dernier métal. C'est une application de ce fait bien connu qu'un métal attaquable par un liquide cesse de l'être si on le met en contact avec un métal électro-positif, de façon à ce qu'il se forme un couple dont le corps à protéger forme l'élément électro-négatif.

L'industrie offre d'ailleurs de nombreuses et belles applications de ce principe. Davy s'en est servi pour protéger les parois en feuilles de cuivre des vaissaux, Althaus pour empêcher la destruction des chaudières en fer où l'on concentre les dissolutions salines. C'est la même action qui se produit pour les tuyaux en cuivre dans les appareils d'évaporation, quand

on les entoure de plusieurs épaisseurs de feuilles minces de zinc. On prétend aussi que l'étamage des tuyaux assure leur conservation.

[Le dispositif le plus efficace employé jusqu'ici consiste à réunir les boîtes à vapeur des deux dernières caisses par un tuyau branché à la partie supérieure, et à faire communiquer ce tuyau avec la pompe à air. Les vapeurs non condensables sont ainsi aspirées au fur et à mesure de leur production, et ne séjournent pas assez dans les appareils pour leur causer des dommages appréciables.]

Il nous reste, pour compléter cette étude, à examiner les quantités de vapeur des machines que peut fournir une fabrique aux appareils de concentration à effets multiples. Comme nous l'avons déjà vu, le travail de 50,000 k^os^ de betteraves par jour exige pour les machines une force de 33 chevaux qui correspondent à 990 k^os^ de vapeur. C'est donc approximativement 990 k^os^ d'eau qu'on peut évaporer en utilisant ces vapeurs détendues.

Or, dans notre exemple, on avait à évaporer pour concentrer les sirops . . . . . 1,380 k^os^ d'eau

Sur ce chiffre, la vapeur des machines amenée dans la 1^re^ caisse en évapore . . . 990 - -

Il reste donc à évaporer dans la 2^e^ caisse 390 k^os^ d'eau.

Dans la seconde caisse, nous disposons des 990 k^os^ de vapeur produites dans la 1^re^ caisse. En défalquant 15 % pour les déperditions, il reste comme quantité de vapeur pouvant être réellement utilisée 990 — 198 soit 842 k^os^.

La seconde caisse est donc en état de vaporiser 842 k^os^ d'eau, soit d'abord les 390 k^os^ de jus restant du calcul précédent, et en plus 452 k^os^ sur les eaux de dégraissage provenant de la filtration.

Or, en employant 20 % de noir, on obtient environ 1250 k^os^ d'eau de dégraissage. Sur cette quantité, 452 sont évaporés dans la 2^e^ caisse et il reste à évaporer 798 k^os^ dans la 3^e^.

En faisant un calcul analogue pour la dernière caisse, on trouve qu'elle reçoit de la précédente 842 k^{os} de vapeur ou, en défalquant comme plus haut 15 %, 710 k^{os}. Il ne reste donc en réalité pour le travail à emprunter à la vapeur directe que 90 k^{os} de vapeur environ par heure, soit 4 ½ à 5 % du poids des betteraves à travailler. On voit que les appareils à triple effet, si le travail est bien conduit, peuvent évaporer la totalité des jus, la totalité des eaux de dégraissage, et 15 % environ d'eau ajoutée à la râpe.

Souvent, on entend affirmer qu'on peut ajouter 50 ou 60 % d'eau à la ràpe sans inconvénient, que le triple effet peut les évaporer sans dépense.. C'est, comme le prouvent les chiffres précédents, une erreur manifeste. On n'évapore en réalité qu'une quantité correspondant à 15 % d'eau ajoutée à la râpe; souvent il est vrai, ce chiffre d'évaporation parait dépassé si l'on se borne à un examen superficiel, mais cela est dû à ce que souvent aussi on fait une concentration préparatoire, ce qui réduit l'évaporation du jus dans les appareils. Quelquefois encore on emploie des machines à vapeur beaucoup plus puissantes qu'il ne faudrait et dont la consommation dépasse les chiffres que nous avons supposés. Souvent enfin, on fait revenir dans le triple effet les vapeurs de retour des autres appareils de chauffage sans les faire entrer en ligne de compte. En réalité, tous ces éléments devraient être évalués et constituent une dépense réelle de combustible en plus.

Il peut être utile, pour permettre une comparaison complète de divers systèmes, de résumer brièvement leurs principales conditions.

D'après les calculs sommaires que nous avons présentés plus haut, l'appareil à triple effet permet d'évaporer sans dépense spéciale la totalité du jus supposé ramené à la densité initiale, la totalité des eaux de lavage des filtres et 15% d'eau ajoutée à la râpe.

Dans les appareils à double effet, il faut, pour évaporer les mêmes quantités, dépenser en combustible une quantité supplémentaire de 105 k^{os} par heure, tandis qu'avec les appareils

à simple effet, mais en utilisant la vapeur de retour des machines, la dépense de combustible spécialement affecté à l'évaporation ressort à 400 k^os de houille environ par heure.

D'après ces éléments, le fabricant peut dans chaque cas déterminer quel est le système de travail le plus avantageux pour ses intérêts.

Dans tout appareil d'évaporation, il faut, pour utiliser la vapeur de retour des machines, disposer d'une grande surface de chauffe: l'expérience indique que dans ces appareils chaque mètre carré de surface de chauffe évapore de 20 à 22 k^os d'eau. Par suite, pour condenser les 990 k^os de vapeur que fournissent les machines, on doit avoir dans la 1^re caisse de 49 à 44 mètres carrés de surface de chauffe. Comme, par hypothèse, la différence de température est la même dans les deux caisses suivantes, soit 12 à 13° pour chacune, les surfaces de chauffe de ces deux caisses doivent être les mêmes que dans la première. L'appareil à triple effet doit donc avoir 44 × 3 ou 132 mètres carrés pour sa surface de chauffe entière.

Dans un appareil à double effet cette surface doit être de 44 × 2 ou 88^m.

Dans un appareil à simple effet, 44 mètres.

Avec ces surfaces, on ne saurait, dans les conditions données, condenser une plus forte proportion de vapeur. Le rendement ne s'élèvera donc pas, quand même on aurait à sa disposition le double de la quantité de vapeur indiquée plus haut à la même température, attendu que la condensation est, pour une différence de température donnée, uniquement proportionnelle à la surface de chauffe. Pour obtenir d'un appareil donné un effet utile plus considérable il faut, ou élever la température de la vapeur, en la surchauffant par exemple, ou diminuer la température d'ébullition dans la dernière caisse, en employant plus d'eau à la condensation. Enfin, on peut suffire à une mise en œuvre de betteraves plus considérable, soit en retirant moins de jus à la presse (80 % par exemple), soit en employant moins de noir, ce qui réduit le volume des eaux de dégraissage, soit en ne poussant la concentration des

jus que jusqu'à à 18 ou 20° Baumé dans les appareils à évaporation, et achevant d'enlever l'excès d'eau dans les appareils de cuite chauffés par la vapeur directe. On voit par suite que, pour déterminer la surface de chauffe correspondant à une production de sucre donnée, on doit connaître à l'avance les divers éléments qui précèdent et qui influent sur le choix de l'appareil.

D'autre part, à égalité de surface de chauffe, l'emploi des serpentins permet d'obtenir beaucoup plus qu'avec les systèmes tubulaires. On admet généralement que, pour le même effet, on peut réduire avec les serpentins la surface de chauffe à 50 ou 60% de celle qui serait nécessaire avec le chauffage par tubes.

D'après cette indication, avec des serpentins pour la circulation de vapeur, un travail journalier de 50,000 k^os^ de betteraves par 24 heures exigerait pour l'évaporation des divers produits de 45 à 50^m.q.^ de surface de chauffe pour les appareils à simple effet, de 90 à 100^m.q.^ de surface de chauffe avec les appareils à double effet, de 135 à 150^m.q.^ de surface de chauffe pour le triple effet.

L'avantage des serpentins dans ce cas parait tenir à des causes multiples: d'une part l'air est expulsé plus complètement et plus rapidement par la vapeur introduite dans le tube, d'un autre côté, le volume des serpentins étant moindre, la détente de la vapeur et par suite son refroidissement sont moins considérables.

Les serpentins en cuivre sont, comme on le sait, très-flexibles et durables, tandis qu'avec un système tubulaire formé de tuyaux assemblés à leurs deux extrémités dans des plaques de tôle, la dilatation se fait inégalement et les joints sont souvent dégradés. Les serpentins en cuivre sont donc sous beaucoup de rapports préférables au mode de construction que nous avons décrit.

Déjà, dans la première édition de cet ouvrage en 1856, ainsi que dans mes lettres de voyage en Bohême, j'avais décrit des appareils à serpentins de cuivre dont la disposition avait été adoptée en Allemagne dans une cinquantaine de fabriques.

Néanmoins, Péclet, dans la 3e édition de son traité de la chaleur (1860), ne parait pas avoir connu cette application, car il écrit, t. 2, p. 253, que: "sans sortir des dispositions qui sont du domaine public, il est facile de trouver une combinaison plus avantageuse que celles de M. Pecqueur et de M. Robert. Chaque appareil serait formé d'un cylindre vertical terminé par des calottes sphériques et renfermant un ou plusieurs serpentins contournés en hélice, parcourus par la vapeur. C'est certainement la disposition la plus simple qu'on puisse employer; pour chaque serpentin il n'y aurait que deux joints, et les variations de température se borneraient à faire un peu changer la courbure des tuyaux. Le nettoyage des vases se ferait facilement par un trou d'homme placé sur le dôme de cylindre et le nettoyage intérieur des tubes deviendrait inutile, parcequ'ils ne seraient parcourus que par la vapeur."

Ces lignes de Péclet se rapportent donc à un appareil qui, dès 1856, était en usage en Allemagne et dont nos éditions antérieures donnaient les dessins. Depuis cette époque, l'idée rationnelle qui avait servi de base à ces dispositifs a reçu une expression plus perfectionnée; le lecteur pourra d'ailleurs s'en faire juge par l'examen des figures ci-après, lesquelles représentent des appareils à évaporer construits sur ce principe et dont j'ai déjà installé un grand nombre.

Dans les figures 149 et 150, les mêmes lettres représentent les pièces identiques.

La vapeur arrivant détendue des machines en *a*, se répartit dans une caisse *b* et d'une manière uniforme entre les divers tuyaux *e e*. Dans le trajet à travers ces tuyaux, elle se condense et l'eau résultant de cette condensation s'écoule en *g*. Cette partie de l'appareil est munie en γ d'un syphon renversé où il reste toujours une certaine quantité d'eau accumulée, que l'appareil soit en marche ou non. Le robinet α permet de prélever un échantillon des liquides pour chacun des serpentins isolément (voir la figure 149); il suffit de laisser couler une portion du liquide rassemblé en γ et de l'examiner. Si cet échantillon ne renjerme pas trace de sucre, c'est une preuve

FIG. 149.

qu'on peut laisser le serpentin en service; si au contraire l'essai indique que les produits recueillis en α contiennent une certaine proportion de sucre, on en doit conclure que le serpentin

Fig. 150.

n'est plus étanche. On ferme alors la soupape β de façon à supprimer l'introduction de vapeur dans ce tube. Grâce à cette précaution, on est à l'abri de toute perte de sucre de ce côté; en même temps, on a la garantie qu'il ne revient pas aux chaudières d'eaux renfermant du sucre. D'ailleurs cette disposition permet, en cas d'accident, de continuer le travail avec les autres serpentins. — Lorsque l'on a, ce qui arrive rarement, à changer un serpentin qui n'est plus étanche, on enlève le couvercle d'arrière *D*, et les écrous *f* et *g*. Ces deux dernières pièces sont les seuls points de fixation du serpentin, ce qui permet à l'élasticité du métal un jeu parfaitement libre et donne toute facilité pour les dilatations.

Le tuyau *g g'* (figure 150), recueille l'eau condensée des divers tuyaux.

i, admission du jus à évaporer.

k, sortie du jus concentré ou sirop.

m, indicateur de niveau du jus (figure 150).

t, trou d'homme.

x, dôme avec dispositif de purgeur à force centrifuge *c c*.

u, tuyau conduisant à la colonne de sureté.

w, colonne de sureté avec robinet de vidange *z*, et tube de niveau *d*.

y, tuyau conduisant au condenseur.

o, manomètre métallique (figure 150).

p p', glaces en verre ou lunettes pour voir dans l'intérieur de l'appareil.

q, thermomètre, — *r*, robinet à air.

h, tuyau pour la vapeur directe.

Les dessins ci-dessus et la description qui précède se rapportent à des appareils à simple effet, mais il va de soi qu'on peut également construire sur le même principe des appareils à double, et, si l'on veut, à triple effet, pour l'utilisation multiple de la vapeur.

Dans tous les appareils à effet multiple, la faculté de faire travailler chaque caisse indépendamment des autres comme appareil à simple effet, représente un avantage précieux, car

il arrive souvent que la réparation d'une caisse exige du temps et constitue une opération difficile. En pouvant utiliser les autres, on est au moins à l'abri d'un arrêt complet de la fabrication et la perte est moins grande.

Fig. 151.

Depuis quelques années, les constructeurs qui n'ont pas encore adopté les serpentins paraissent revenir aux types de Rillieux et de Dolainsky, c'est-à-dire à des tubes horizontaux. Seulement, ces tubes ne sont fixés que d'un seul côté sur la

plaque générale. Chacun d'eux est formé de deux tuyaux concentriques; la vapeur arrive par le tube intérieur, lèche ensuite la surface du plus grand et revient dans une chambre spéciale du même côté où s'est faite son introduction. Ce dispositif offre quelques avantages au point de vue des dilatations, mais

dinal de l'appareil évaporatoire.

La vapeur détendue fournie par les machines motrices arrive en *c* dans la chambre de vapeur *b* ménagée à l'avant. Cette vapeur circule dans les tuyaux *e e e*, cède sa chaleur au jus qu'elle porte à la température de l'ébullition et, une fois condensée, se réunit dans le compartiment d'arrière *g* pour sortir en *f*. Les deux fonds *a a'* sont assemblés sur l'appareil par des joints à écrou, de façon à ce qu'on puisse arriver facilement aux joints des tuyaux *e*. L'enlèvement, le nettoyage et la remise en place de ces tuyaux n'offrent donc aucune difficulté. Le jus à évaporer arrive en *i*, tandisque le sirop sort de l'appareil en *k*. Les glaces *p p'* permettent de suivre dans l'intérieur la marche de l'évaporation. Enfin, l'appareil comprend un robinet à air *r*, et est mis en relation avec le monte-jus par le tuyau *u*.

La figure 152 comprend une élévation et la section par un plan parallèle d'un appareil à double effet. Les mêmes

lettres que dans la figure précédente représentent les détails correspondants. En outre,

h, est l'admission de vapeur directe.

o, le manomètre; *q*, le thermomètre.

Fig. 152.

p, glace pour examiner l'intérieur de la caisse.
r, robinet à air.

Fig. 153.

Fig. 154.

s, tuyau reliant les deux caisses, pour faire passer le jus de la seconde dans la première ou réciproquement.

m, tube de niveau muni d'un réservoir d'épreuve *n* pour mesurer la densité du jus.

u u', tuyaux d'assemblage permettant de marcher, soit à double effet, soit à simple effet, avec chaque caisse.

v_1 v_2 v_3, robinets de réglage des vapeurs.

w, hausse disposée comme celle de la fig. 149, pour retenir et isoler les portions de liquide sucré entrainées dans l'évaporation.

d, tube de niveau d'eau de l'appareil de purge ci-dessus.

y, tuyau conduisant à la condensation.

z, robinet de vidange.

Les figures 153 et 154 représentent, en grandeur naturelle, le mode d'assemblage des tuyaux de chauffage dans l'appareil dont nous nous occupons.

H H, plaques sur lesquelles sont assemblés les tuyaux et qui forment les fonds.

E, tube de cuivre.

J K, raccords à pas de vis pour l'assemblage. La pièce *J* est encastrée dans la plaque *H* et l'étanchéité du joint est assurée par une feuille de caoutchouc *L* sur laquelle se transmet la pression due au serrage par l'intermédiaire d'une rondelle en cuivre *M*. Sur la plaque opposée existe un joint identique à celui que nous venons de décrire.

Dans ces conditions, et comme il est facile de le comprendre, chacun des tuyaux *e* peut obéir à l'action des variations de température et se dilater librement, sans qu'on ait à craindre qu'il se rompe ou cesse d'être étanche. — Lorsque l'on veut retirer un tube, on desserre l'écrou *k*, on fait sortir le tube, on le nettoie et on le remet en place sans aucune difficulté.

Ce type d'appareils et infiniment plus pratique que celui qu'adoptent les maisons Cail et Hallot, où les tubes se trouvent encastrés dans les deux fonds bien qu'ils soient en cuivre, c'est-à-dire d'un métal différent de celui du corps même de la caisse qui est en fonte. Il en résulte que les différentes parties

ont des coefficients de dilatation très-inégaux et, d'autre part, dans le cas de réparation ou de changements de tubes, le travail est infiniment plus long et plus difficile. A ce sujet, nous devons signaler en passant que les caisses en fonte ne sont pas admissibles pour certains pays, la Russie Méridionale notamment, où les appareils peuvent souffrir dans les transports souvent très-longs qu'ils subissent. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, l'appareil à simple effet en fonte fourni par la maison Hallot pour la raffinerie de Kiew, est arrivé brisé et a du être réparé complètement avant le montage.

Du reste, le type d'appareils évaporatoires à tuyaux mobiles que nous venons de décrire a été médaillé à l'exposition de Paris. L'appareil qui figurait à cette exposition a été installé par nous à la fabrique de Parafufka dans la Russie Méridionale, et le même dispositif a été adopté dans cinq fabriques de cette contrée.

Nous devons signaler ici une idée émise par Péclet et qui peut s'appliquer à tous les systèmes. Elle consiste à établir dans chaque caisse un flotteur métallique creux relié à la commande du robinet d'alimentation des jus. Le flotteur ferme le robinet quand la caisse est pleine de jus et la rouvre quand le niveau baisse. De cette façon, l'alimentation se fait d'une manière automatique sans qu'on ait à redouter une négligence ou un oubli de l'ouvrier chargé de l'appareil.

Cette idée, qui avait déjà été proposée par Pecqueur dès 1840, me semble d'une application avantageuse.

Bien que nous ayons donné plus haut les raisons qui militent pour l'emploi des pompes à air sèches, nous croyons néanmoins devoir donner les dessins d'une pompe à air et à eau telles qu'on les construit le plus généralement aujourd'hui.

La pompe est formée, (fig. 155 et 156), par les cylindres *f f*, vus en coupe, dans lesquels se meuvent les pistons *a*. La vapeur arrive par les tuyaux *o*, l'eau par le tuyau *n* et les produits de la condensation passent en *b*. A chaque mouvement de va-et-vient, l'aspiration détermine le soulèvement des clapets en caoutchouc *c c* et, dans la marche inverse, le refoulement

s'opère par les clapets *d d* également en caoutchouc. Comme il se forme souvent des incrustations et des dépôts, on doit

Fig. 155.

fréquemment nettoyer les pistons *a* et les cylindres dans lesquels ils se meuvent. Cette opération se fait sans difficulté en enlevant les couvercles boulonnés *e*. Les pistons des pompes sont reliés

par une traverse solidaire de la tige du piston de la machine à vapeur à action directe *B*. La machine peut donner 80 coups par minute et assure ainsi un débit considérable de la pompe.

Fig. 146.

Les diverses parties de la machine se comprennent d'ailleurs sans autre explication; la vapeur arrive en *g* dans le cylindre *h*, les glissères *i* guident la tige du piston *k*, enfin le mouvement est régularisé par un volant monté sur l'arbre de commande *w*.

Ces machines horizontales ont l'avantage d'être à la fois simples et solides. Celle dont nous donnons les dessins sort des ateliers de construction de Ilsenbourg.

[Nous devons signaler ici les essais tentés en France par M. Mariolle pour appliquer l'injecteur Giffard à la production du vide dans les appareils évaporatoires et dans les chaudières à cuire. Malheureusement la dépense de vapeur atteint dans ce cas des proportions considérables.]

Comme conclusion de ce chapitre, nous résumons ci-dessous les renseignements principaux relatifs à la marche des divers appareils évaporatoires :

Nature de l'appareil.	Quantité de charbon nécessaire par heure pour 50,000 k^os de betteraves.			Surface de chauffe nécessaire, mètres carrés.	Nombre d'ouvriers.
	Pour évaporer les jus. kilog^es.	Pour les eaux de la filtration. kilog^es.	Total. kilog^es.		
Chaudières ouvertes à feu nu	240	217	457	50	8
Chaudières ouvertes chauffées à la vapeur par serpentins	180	162	342	23,3	7
Appareil dans le vide à vapeur directe	180	162	342	13,9	2
Appareil à simple effet à vapeur de retour	52	165	217	50,0	2
Appareil à double effet. . .	—	106	106	100,0	2
Appareil à triple effet . . .	—	—	—	150,0	2

Pour le calcul des quantités d'eau nécessaire, on peut partir des données suivantes :

Dépense d'eau en litres par minute.

Appareil à double effet.	Appareil à simple effet.	Pour une quantité de betteraves mises en œuvre journellement de
160 lit.	256 lit.	50,000 k^os
240 -	384 -	75,000 -
320 -	512 -	100,000 -
480 -	768 -	150,000 -

Chapitre II.

Cuite dans le vide.

Le jus concentré, aussi épuré que possible, ne forme pas encore une dissolution sucrée pure. Mais comme, dans l'état actuel de l'industrie, on ne saurait en séparer toutes les matières étrangères, on cherche à retirer de la dissolution impure ou *sirop*, par la cristallisation, la majeure partie du sucre. Le sucre qu'on obtient ainsi est relativement pur, car les cristaux qui se forment dans une dissolution ne retiennent qu'une très-petite partie de liquide interposée entre leurs molécules et il est facile de débarrasser ces cristaux des éléments étrangers qui restent dans les eaux-mères. De la sorte, on obtient, d'une part, du sucre pur cristallisé, de l'autre, une dissolution saturée de sucre qui retient tous les éléments étrangers. Cette dissolution constitue les mélasses et nous reviendrons dans un chapitre spécial sur son traitement ultérieur.

Lorsqu'on prend une dissolution pure et qu'on la laisse cristalliser lentement, le sucre se sépare en beaux cristaux, volumineux et réguliers, comme le représente la figure 157. Souvent, ces cristaux ont leurs angles et leurs faces abattus et se présentent alors comme l'indique la figure 158.

Fig. 157. Fig. 158.

Mais, lorsque la cristallisation s'effectue rapidement, le sucre cesse de prendre ces formes régulières; il se sépare en petits cristaux, brouillés et confus, formant des groupements irréguliers, dans lesquels il est souvent presque impossible de reconnaître un système cristallin.

[Quelques praticiens prétendent que, dans la cuite en grain, les cristaux de sucre se présentent sous un aspect différent, suivant qu'ils proviennent de sirops légèrement acides ou de sirops alcalins. Dans le premier cas les cristaux sont fins et allongés et affectent la forme de petites aiguilles.]

On a recours à la cristallisation lente et tranquille lorsqu'on veut produire des cristaux volumineux et réguliers comme le sucre candi, mais, pour obtenir le grain de petites dimensions du sucre en pains (Mélis, Raffinés, etc.), non seulement on détermine une cristallisation rapide en concentrant fortement la dissolution, mais on a soin d'imprimer à la masse des mouvements qui s'opposent à la cristallisation lente.

Si en effet l'on concentre une dissolution sucrée à un point tel qu'elle reste encore liquide à une température élevée et si on la laisse ce refroidir, comme elle ne contient plus assez d'eau pour que tout le sucre reste dissout, une partie de ce sucre se sépare et, cette séparation s'effectuant très-vite, la cristallisation se fait en petits grains. La quantité de sucre qu'on obtient ainsi dépend d'ailleurs de la quantité de matière qui peut rester dans la dissolution à la température où l'on opère.

Dans les fabriques, pour connaître le moment où la dissolution est assez concentrée, on arrête l'évaporation au point qui correspond à la preuve au filet, c'est-à-dire au moment où une goutte de sirop donne entre les doigts un filet délié. Le travail fait dans ces conditions porte le nom de cuite au clair parce que le jus reste clair et d'un blanc brillant. Dans la cuite en grains, au contraire, les petits cristaux qui se forment dans la masse même troublent sa transparence.

Lorsque le sirop est arrivé à un point de concentration suffisant, il se forme, comme nous l'avons dit, une grande quantité de petits cristaux de sucre que l'on peut augmenter et grossir à volonté en ajoutant un peu de sirop plus étendu. Mais une partie de sucre se trouvant ainsi séparée sous forme solide, la dissolution qui reste devient plus fluide; on peut donc continuer la cuite et déterminer une nouvelle formation de cristaux. Bref, on peut pousser cette séparation, dans l'appareil même, assez loin pour que le liquide restant, qui conserve les substances étrangères incristallisables, soit, après refroidissement, trop visqueux pour se séparer facilement des cristaux. Cette opération constitue la cuite sèche, et l'on est obligé

d'étendre ensuite cette masse trop concentrée, soit par du sirop, soit par tout autre liquide, de façon à pouvoir isoler le sucre à l'aide des turbines. Cette masse cuite à sec ne retient plus

Fig. 159.

que 5 à 6 % d'eau, tandis que l'on en trouve 10 à 12 % dans les masses cuites ordinaires. Avec ces dernières, le liquide, n'étant pas saturé de sucre ou de sels étrangers, se sépare des cristaux par simple égouttage et plus ou moins rapidement. Dans la pratique, on dit que la cuite est lourde ou pleine si la masse ne contient que peu d'eau, si les formes à la purgerie ne laissent couler le sirop que goutte à goutte et lentement. La cuite est légère ou creuse s'il reste assez d'eau pour que le sirop coule rapidement des formes, à raison par exemple de plus de six gouttes par minute.

Il est clair que les séparations des cristaux dans le sein même du liquide, la cuite en grains, ne peuvent se faire que si les jus sont très-riches en sucre et pauvres en matières étrangères, ces dernières empêchant la formation des cristaux et rendant la masse visqueuse. Ainsi, ce dernier accident se produit habituellement lorsque les sirops contiennent, sur 100 parties de matières solides, plus de 30 de sels étrangers. Si cette proportion se réduit à 25, si par conséquent la liqueur marque 75 % de sucre au polarimètre de Ventzke et à la densité 1,100, la cristallisation ne s'effectue qu'avec difficulté et lentement. Enfin, l'opération marche d'une manière normale avec une richesse en sucre de 85 %. Sous un chiffre plus élevé elle se produit très-vite.

[La figure 159 représente en coupe la disposition générale et les détails des appareils à cuire dans le vide le plus généralement employés dans l'industrie. La vapeur, fournie par les générateurs circule, d'une part, dans le double fond *b*, d'autre part, dans les serpentins intérieurs *c*, munis chacun d'une soupape de commande, et disposés par étage de manière à permettre de chauffer successivement à des hauteurs différentes; ces serpentins ne doivent être ouverts que l'un après l'autre, à mesure seulement que le liquide les recouvre. Les sirops à cuire arrivent par le tuyau *e*, appelés par le vide même qui se maintient dans l'appareil; il est bon que ce tuyau soit courbé en syphon dans l'intérieur de la chaudière, pour que l'arrivée du sirop se fasse bien au centre, et à la partie inférieure.

L'aspiration directe peut être employée au début de la cuite; mais, à la fin, il vaut mieux alimenter en se servant d'une pompe qui remonte les sirops dans un réservoir placé derrière les chaudières à cuire, et sur le même plan, ce qui rend l'aspiration beauboup plus facile. Les vapeurs produites par la concentration suivent la direction des flèches, et, dans le trajet, avant de sortir du dôme de l'appareil, elles se dépouillent des portions de liquide sucré qu'elles pourraient avoir entraîné. Ces vapeurs passent de là dans le condenseur, *a*, analogue à celui des appareils évaporatoires, et les produits de la condensation s'écoulent en *k*. Un robinet à cadran *i* permet d'ailleurs de modifier à volonté l'injection d'eau froide dans le condenseur, et, par suite, le degré de vide et la température de la masse cuite. — *g*, lunette pour suivre dans l'intérieur de l'appareil la marche du travail. — *f*, robinet à air et à graisse, *d d'* manomètres métalliques qui indiquent, le premier le degré du vide, le second la tension de la vapeur dans les serpentins. Le premier de ces manomètres porte en même temps une graduation thermométrique. Il est bon de brancher sur le tuyau d'alimentation un tuyau d'eau, afin de pouvoir introduire de l'eau dans la chaudière, en cas de besoin: quand il s'agit de dégraisser une cuite, par exemple. Quelques appareils possèdent en plus un émousseur à vapeur d'une utilité contestable.]

Lorsque la cuite est arrivée au point voulu, on fait sortir les matières visqueuses que renferme l'appareil à l'aide de la soupape conique *m* commandée par un levier sur lequel agit l'ouvrier.

La figure 160 représente la disposition extérieure et l'élévation d'un appareil analogue au précédent, mais dans lequel la forme générale a été légèrement modifiée.

[Aujourd'hui les chaudières à cuire atteignent des proportions beaucoup plus considérables; on leur donne jusqu'à cinq mètres de diamètre. A Meaux, par exemple, on coule à chaque opération 300 hectolitres de masse cuite. L'expérience a montré d'ailleurs que l'on pouvait opérer sur une aussi vaste échelle sans que le travail en souffre le moins du monde. Toutefois

il serait utile de munir les appareils de cette dimension d'un quatrième serpentin de chauffe; trois, (c'est le nombre ordinaire) ne permettent pas de marcher aisément et avec régularité. On a construit aussi des chaudières à cuire dites tubulaires, qui

Fig. 160.

sont installées exactement comme une caisse de triple effet. Ces chaudières permettent de mener l'opération très-rapidement,

on peut gagner jusqu'à un tiers du temps généralement nécessaire avec les autres appareils. Malheureusement, dans ces conditions le grain obtenu est toujours très-fin. Ce genre de chaudières serait en tous cas précieux pour la cuite au filet telle qu'on la pratique pour les bas produits.]

Quant au travail même de la cuite, il se borne théoriquement à évaporer un liquide jusqu'à un point de concentration donné; mais, si simple que paraisse ce problème, si fondée que soit l'opinion qui fait de la production du jus le côté essentiel de la fabrication, car un jus altéré ne saurait jamais donner de bons produits, il n'en est pas moins vrai que la cuite constitue une des opérations importantes d'un bon travail. Je crois donc utile de développer dans les lignes qui suivent l'examen de cette opération, et de discuter les règles qui assurent un produit satisfaisant.

La betterave et le jus qu'on en retire ne contiennent en principe que du sucre cristallisable. Néanmoins, et par suite de l'imperfection de nos méthodes actuelles de fabrication, une partie de ce sucre se transforme toujours pendant le travail en sucre incristallisable. C'est l'affaire du cuiseur, de séparer par la cristallisation la plus forte proportion possible du sucre cristallisable que renferme le jus. Il doit chercher à éliminer autant des éléments étrangers que le permet la nature du sirop. Mieux ce résultat est atteint dans le travail des premiers produits, et mieux la cuite est faite.

On distingue les cristallisations lentes et tranquilles des cristallisations rapides et troubles. Le travail des candis et du sucre brut repose sur le premier de ces modes, la préparation des raffinés sur le second.

Au début de la fabrication du sucre, et par suite de la mauvaise qualité des jus, on était forcé de recourir exclusivement à la cristallisation lente, il fallait laisser au sucre le temps de se séparer des sirops. Il serait sans intérêt aujourd'hui d'exposer en détail la méthode de cuite que l'on suivait alors, ou de s'appesantir sur le côté historique de la question. Ce sujet a d'ailleurs été suffisamment développé dans nombre d'ouvrages,

notamment dans le traité d'Otto. Je me bornerai donc à parler de la cuite dans le vide, en supposant remplie la première condition de ce travail, c'est-à-dire en supposant qu'on traite des jus sains. Les jus acides donnent en effet beaucoup d'écumes; au contraire, les jus trop calcaires, surtout lorsqu'ils contiennent du parapectate de chaux, cuisent très-difficilement.

Lorsqu'une dissolution de sucre dans l'eau, telle que le jus, est maintenue longtemps à une température élevée, le sucre perd la faculté de cristalliser. Mais il est clair qu'en opérant dans le vide, on peut tourner cette difficulté et abaisser notablement le point d'ébullition. La température à laquelle bout un liquide dépend en effet de la pression à laquelle il est soumis. Ainsi, en vases ouverts, l'ébullition ne commence qu'au moment où les vapeurs produites ont une tension suffisante pour faire équilibre à la pression atmosphérique, tandis que dans le vide cette pression peut être réduite à 15 ou 20 centim. de mercure. L'abaissement de température dû à cette diminution de pression rend plus difficile la transformation du sucre cristallisable en produits glucosiques ou incristallisables et de ce fait résulte une notable amélioration dans le rendement. D'autre part, on voit immédiatement que la cuite se fera d'autant plus vite que l'effet de la pompe à air sera plus énergique, et à ce sujet, l'intérêt des fabricants est d'avoir des moyens aussi puissants que possible de maintenir le vide. Un bon vide permet d'abréger notablement la durée d'une cuite, car cette durée varie du simple au double, suivant que l'on emploie une pompe à air suffisante ou un appareil trop faible. Le seul inconvénient qu'on puisse redouter c'est, avec les jus très-étendus, l'entrainement de gouttelettes liquides qui passent au condenseur. Il en résulte une perte de sucre, mais cet inconvénient, que présentent tous les appareils dans le vide, peut être réduit à de très-faibles limites si l'appareil est bien construit et le travail bien mené.

Dans la cuite, la concentration peut être poussée simplement jusqu'au point où le sirop est susceptible de cristalliser: c'est la cuite dite au crochet, à la suite de laquelle on laisse

la cristallisation s'effectuer lentement et d'elle-même. On peut aussi cuire en grains et alors le cuiseur est maître de pousser la cristallisation dans l'appareil lui-même jusqu'à ce qu'il obtienne les résultats voulus. Le premier mode de travail ne s'applique guère aujourd'hui qu'aux sous-produits; nous réserverons donc sa description pour le chapitre spécial qui traite de ces matières, et nous porterons toute notre attention sur la cuite en grains, qui forme dans les usines l'opération la plus délicate.

Le travail de la cuite se compose d'une série d'opérations distinctes:

1° former le grain,

2° séparer le grain,

3° prendre la dernière preuve, c'est-à-dire saisir le point où la plus forte proportion possible de cristaux se trouve séparée.

Pour opérer avec succès, il importe de ne jamais perdre de vue les principes suivants:

1° Plus le sirop qui arrive à la concentration ou à la cuite est étendu, et plus on obtient des cristaux volumineux, car naturellement la durée de la concentration est plus grande et l'évaporation plus lente. Au contraire, plus le sirop arrive concentré à la cuite, et plus les cristaux sont petits; l'évaporation est en effet trop rapide dans ce cas pour que le travail de cristallisation puisse s'effectuer dans des conditions normales.

2° D'après les mêmes principes, il faut pousser la cuite moins loin pour les preuves légères, si l'on veut avoir une cristallisation nerveuse et régulière; mais plus on veut que le grain soit fin, plus les preuves doivent être prises fortes, plus le sirop doit être déjà concentré au moment où l'on en ajoute de nouvelles doses dans l'appareil.

3°. De ce qui précède résulte que, dans les additions successives de sirop, il faut que le volume ajouté soit plus fort si l'on veut avoir de gros grains; les cristaux ont en effet de la sorte tout le temps nécessaire pour se former. Pour obtenir

du grain fin, il faut au contraire ajouter le jus fréquemment et par petites quantités, de façon à troubler la cristallisation.

4° Plus on veut avoir des cristaux volumineux et plus il faut mener la cuite avec lenteur et tranquillement; au contraire, plus le grain doit être fin et plus il faut cuire vite, car la séparation ou la précipitation rapide de la masse solide dans l'appareil a le même résultat que le mouvage du sucre dans les réchauffoirs.

5° Plus la preuve est légère au moment où le grain se forme, c'est-à-dire plus on veut que les cristaux soient gros, et plus il faut que la dernière preuve soit prise forte et serrée, car la nature du grain permet dans ce cas aux sirops de s'égoutter facilement.

Ces principes sont fondés sur les caractères et les conditions des deux modes de cristallisation; il est d'ailleurs à peine besoin de noter que, dans les additions successives de jus, on ne doit ajouter à la masse qu'une quantité de liquide assez faible pour que les cristaux déjà formés ne se redissolvent pas.

Les idées fondamentales qui précèdent suffiront pour faire comprendre le but général et le principe des opérations. Laissant donc à chacun le soin de les compléter ou de les étudier plus en détail, je me bornerai à donner quelques détails sur le travail lui-même de la cuite au point de vue de la fabrication du sucre brut.

La valeur d'un sucre brut se détermine surtout par la grosseur de ces cristaux à vives arètes, caractère le plus certain de son pouvoir de cristallisation. On tient d'ailleurs compte de la pureté et de la sécheresse du grain, indice que les cristaux sont complètement débarrassés de sirop et dépouillés de sels étrangers. Nous devons donc examiner comment, dans la cuite en grains, on cherche à réaliser ces conditions.

Il est clair que la cuite doit être menée très-lentement, régulièrement et avec beaucoup de soins; aussi, un bon cuiseur ne devrait jamais se borner à un seul essai qui peut manquer, mais il devrait toujours en faire une série pendant le travail.

[Cette phase de la fabrication est d'ailleurs assez importante pourqu'il nous paraisse utile d'entrer ici dans des détails plus circonstanciés, et plus pratiques. Voici la marche généralement adoptée. La soupape de vapeur étant close, ainsi que le robinet à air, on met en marche la pompe à faire le vide, et on ouvre en grand l'alimentation. Dès que le premier serpentin est couvert par le sirop, on y introduit la vapeur, puis on attend que la chaudière soit remplie jusqu'au niveau voulu. Ce niveau qui peut être variable avec les différents appareils doit être déterminé une fois pour toutes par expérience; quand il est atteint, on ferme l'alimentation, et on laisse la masse se concentrer: il s'agit d'amener le sirop au point de cuite pour pouvoir ensuite le grainer. Pour déterminer le niveau auquel il convient de laisser la chaudière se remplir, il faut se guider sur ce fait que la masse, après concentration, doit recouvrir le premier serpentin: d'autre part il ne faut pas perdre de vue qu'il est bon, en général, de procéder au grainage avec peu de liquide relativement à la masse cuite que l'on veut obtenir; le grain a plus le temps de se nourrir, et en outre, s'il arrive un accident, si l'on est obligé de refondre le grain mal formé, on a plus d'espace devant soi. Le plus souvent, il convient de grainer ainsi avec un seul serpentin; quelquefois cependant, quand à la fin d'une campagne les cuites deviennent difficiles à travailler, il est avantageux de grainer à deux et même à trois serpentins.

La densité qui correspond au point de cuite est 43° Baumé: on reconnait qu'on a atteint ce degré à la viscosité de la masse, à la manière dont les bouillons adhérent aux glaces des lunettes, à la pression manométrique qui doit être alors de $3^k\,1/2$. En effet, le robinet de vapeur étant ouvert à moitié seulement, ce qui suffit en général et met à l'abri des coups de feu, à mesure que l'opération avance, la pression de la vapeur augmente dans le serpentin parceque la condensation y est de moins en moins active; le manomètre monte, et il atteint $3^k\,1/2$ au moment où le sirop possède la densité voulue. Cependant, pour les sirops gras, cette limite est dépassée avant qu'on ne soit au point de

cuite; on doit dans ce cas modérer la vapeur. Le véritable contrôle du point de cuite consiste dans la preuve au filet: on prend dans les doigts un peu de sirop puisé dans la chaudière au moyen d'une sonde disposée à cet effet, puis on écarte vivement les doigts sans laisser au sirop le temps de se refroidir: il faut que les doigts apparaissent alors réunis par un fil peu délié; on doit prendre cette preuve d'autant plus légère que le sirop est de meilleure qualité.

La preuve une fois prise, on commence à grainer: pour cela, on règle le vide que l'on a pu laisser monter beaucoup pendant l'évaporation préparatoire; le robinet d'injection doit être fermé de manière à ce que le vide tombe à 17 ou 18 pouces; alors seulement on rouvre le robinet d'alimentation. On ne peut pas toujours grainer avec une vide aussi faible, bien que ce soit préférable; avec de grands appareils notamment, il faut tenir l'aiguille entre 19 et 20 pouces. Le robinet d'alimentation ne doit pas être ouvert en grand; il faut qu'un bon cuiseur détermine sur la clef de ce robinet un trait qui a son correspondant sur la douille fixe; ces traits sont déterminés par l'expérience, et leur coïncidence marque l'ouverture moyenne de l'alimentation; c'est alors à droite ou à gauche de ce point qu'il faut tourner le robinet suivant que l'on veut augmenter ou diminuer l'alimentation: Ce point de repère, quand il a été établi avec soin, facilite considérablement le travail du cuiseur. Le robinet d'alimentation étant ouvert, à sa position normale, le manomètre tombe bien vite du point de cuite à 3^k; c'est à ce point qu'il convient de maintenir, autant que possible, la pression dans le serpentin, en ouvrant ou fermant l'alimentation suivant que le manomètre tend à monter ou à baisser. Cependant, comme les variations peuvent tenir à la pression même de la vapeur qui n'est pas absolument constante, et non toujours à la concentration de la masse, il faut contrôler les indications du manomètre par la manière dont le sirop se comporte dans la chaudière. En général, on se guide, pour la conduite de la cuite, par l'inspection des bouillons projetés contre les lunettes, et l'apparence plus ou moins liquide de la masse; il ne faut

pas que les bouillons s'élancent trop haut et retombent en glissant trop vite le long des glaces, ce qui indiquerait une trop grande fluidité et nécessiterait le ralentissement de l'alimentation; il ne faut pas non plus que la masse se montre trop épaisse, ni que les bouillons glissent avec trop de lenteur sur les lunettes; la cuite serait alors trop serrée, et on devrait augmenter l'arrivée du sirop. Quant à la marche à suivre, nous conseillerons de tenir la cuite plutôt un peu serrée jusqu'à l'apparition des cristaux, le seul inconvénient, serait de produire trop de grains, et dans ce cas, le grain une fois formé, il suffira de tenir la cuite un peu plus liquide, par la suite, de manière à faire fondre les plus petits au profit des plus gros; si l'on éprouve trop de difficulté à faire disparaître les grains en excès par la simple dilution de la masse, on peut laisser tomber légèrement le vide, de 2 pouces par exemple: la température s'élevant, le liquide acquiert un pouvoir dissolvant plus énergique. Pourtant, en aucun cas, il ne faut laisser tomber le vide au-dessous de 17 pouces, parcequ'alors on aurait une grande peine à le faire monter ensuite de nouveau; nous ferons remarquer ici que ce mode d'agir n'est applicable qu'aux sirops de betteraves; pour les sirops de cannes dont la tendance à cristalliser, par suite de leur pureté et de leur richesse, est beaucoup plus considérable, le cuiseur doit surtout chercher à prévenir la formation d'une trop grande proportion de grains; dans ce but il faut, au moment du grainage, laisser monter davantage la température, en diminuant la condensation, et tenir la masse beaucoup plus fluide.

Jusqu'à l'apparition des grains, il faut conduire la cuite très-lentement: le grainage se fait assez vite quand les sirops sont bons; 15 à 25 minutes suffisent en bonne fabrication; mais il faut compter 2 et 3 heures quand les sirops sont mauvais, à la fin de la campagne par exemple. Quand le grain se forme, le sirop devient d'un blanc bleuâtre, comme louche, puis on ne tarde pas à apercevoir dans le liquide projeté contre les lunettes des points brillants qui roulent le long des glaces en renvoyant vivement la lumière; en prenant la preuve, on voit

alors le filet comme noué par places. A partir de ce moment, qu'il faut guetter avec attention, on tient la cuite un peu plus liquide, pas trop cependant, et on continue l'alimentation en ouvrant ou fermant le robinet suivant le besoin, et en se guidant toujours, pour cela, sur l'aspect des bouillons. Nous avons dit que le grainage était plus ou moins facile, demandait plus ou moins de temps suivant la qualité des sirops: quelquefois il ne se produit pas du tout. Cet accident qui est un des plus graves de la fabrication est le plus souvent sans remède il provient en général de la trop grande alcalinité des sirops; on a proposé pour y obvier d'alimenter quelques instants la cuite avec une solution de carbonate de soude qui agit sur les sels de chaux par voie de double décomposition et précipite cette base (MM. Cuisinier et Leplay), ou d'introduire un peu d'acide sulfureux dans la chaudière, ou encore d'alimenter simplement pendant une demi-heure à une heure avec de l'eau pure (M. Lezé), et d'essayer ensuite de reprendre le grainage. Dans certains cas, il peut être bon d'arrêter complètement la cuite pendant quelque temps, trois quarts d'heure ou une heure, à la reprise on trouve quelquefois le grain formé tout seul par le refroidissement. En cas d'insuccès, il ne reste plus qu'un parti à prendre, il faut faire passer de nouveau le sirop défectueux à la saturation ou à la seconde carbonatation suivant le mode de travail adopté dans l'usine.

Lorsque la marche est régulière, la masse monte lentement dans la chaudière, tandis que le grain devient plus net et se nourrit; quand le liquide arrive au niveau du second puis du troisième serpentin, on ouvre les soupapes qui commandent l'entrée de la vapeur; on conçoit qu'il n'est pas utile de mettre la vapeur dans ces serpentins avant que leur surface de chauffe puisse être complètement utilisée. Pour ce qui est des indications fournies par le vide et par la pression manométrique, on doit se rappeler qu'en thèse générale, avec le second serpentin ouvert, il faut tenir le vide entre 18 et 19 pouces et le manomètre entre 2 et 3 kilog.; avec le 3e serpentin le vide doit osciller entre 20 et 21 pouces, et le manomètre entre 3 et

4 kilos; ensuite on laisse le vide atteindre 22 et 23 pouces. Lorsque, pour une cause, ou pour une autre, on est obligé d'interrompre momentanément la marche de la cuite, on doit fermer la vapeur, et laisser rentrer l'air peu à peu dans l'appareil; on règle à cet effet l'ouverture du robinet par tâtonnements, de telle façon que, sous l'action de la pompe à air, l'aiguille de l'indicateur de vide reste stationnaire. Avant de remettre l'appareil en marche, on commence par rétablir l'ébullition dans la masse au moyen du vide seulement; quand le bouillon a repris, et seulement alors, on ouvre le robinet de vapeur; sans cette précaution on donnerait inévitablement un coup de feu et on s'exposerait à brûler la cuite. Si la remise en marche est trop pénible, on facilite l'action du vide par de petites admissions de vapeur dans les serpentins.

Quelquefois, dans le courant de l'opération la cuite mousse beaucoup, ce fait se présente surtout avec des sirops un peu acides; on abat les mousses soit avec de petites rentrées d'air, soit, si cela ne suffit pas, avec de l'huile ou de la graisse que l'on introduit par le robinet dit robinet à beurre.

A mesure que la cuite avance il faut tenir la masse un peu plus serrée et laisser monter le vide; enfin, la chaudière étant suffisamment pleine, le moment est venu de procéder au serrage, c'est-à-dire d'amener rapidement la masse au point de siccité convenable pour le turbinage. On ferme alors l'alimentation, et on laisse monter le vide, tout en modérant un peu la vapeur: il est bon de serrer avec le plus de vide possible (24 à 25 pouces), et une pression manométrique de 3^k à $3^k\ ½$. Quelques praticiens conseillent de serrer avec une pression manométrique inférieure, mais nous estimons que c'est à tort, quand toutefois les sirops sont de bonne qualité: on n'a rien à redouter d'une pression un peu élevée dans les serpentins, et le sucre produit n'en est que plus nerveux et plus pesant. On doit alors prendre fréquemment des preuves à la sonde: si la cuite est bonne, la preuve contient une masse de cristaux très-blancs de grosseur convenable et régulière, bien isolés les uns des autres, durs aux doigts, et entourés d'une

petite quantité de sirop clair et sec. Dans ce cas on peut pousser le serrage jusqu'à la dernière limite c'est-à-dire jusqu'à ce que la masse soit tout juste assez mobile pour pouvoir sortir de la chaudière par l'issue dont on dispose, et, à ce propos, nous conseillerons l'emploi d'appareils à larges issues pour qu'en aucun cas la chûte de la masse cuite ne présente de difficultés. Dès que le serrage est jugé presque achevé, le robinet de vapeur doit être fermé, et on laisse l'opération se terminer par le vide seulement; l'aiguille de l'indicateur peut monter alors jusqu'à 26 pouces. On s'assure de temps en temps que le vide produit encore de l'effet en tâtant le tuyau de retour des eaux de condensation: ces eaux sont chaudes tant qu'il y a dans la chaudière une évaporation de quelque importance. Quand la cuite, suffisamment serrée, est prête à envoyer, on ferme le robinet à eau de condensation, on arrête la pompe à air, et on ouvre le robinet qui laisse rentrer l'air dans la chaudière. Le vide baisse rapidement: on ouvre alors peu à peu la soupape d'écoulement, et la masse cuite tombe directement dans les bacs de refroidissement.

Au début de la campagne on ne met guère qu'un quart d'heure pour serrer une cuite; à la fin, quand les sirops sont de mauvaise qualité, il faut souvent plus d'une heure. L'opération demande alors quelques précautions particulières sur lesquelles il est bon d'être renseigné. Si dans les preuves que l'on prend avant de procéder au serrage les grains ne se séparent pas bien quand on les triture sous l'eau, si le sirop qui les englobe n'est pas rapidement dissout, on dit que la cuite est grasse. Dans ce cas le serrage doit être poussé moins loin que précédemment, et la masse doit être soumise au dégraissage. Cette opération consiste à ouvrir en grand le robinet d'alimentation pendant quelques secondes, et le fermer brusquement; le liquide traverse toute la masse en se chargeant des matières graisseuses, monte et vient bouillonner à la partie supérieure. On laisse la cuite revenir au point de serrage auquel elle se trouvait primitivement, et on recommence l'opération à plusieurs reprises. Quand les cuites sont très-grasses,

au lieu d'employer le sirop pour dégraisser, il vaut mieux recourir à l'eau qui produit un effet plus énergique. Quelques personnes conseillent aussi dans ce cas le dégraissage à la vapeur. Si la preuve en se refroidissant colle aux doigts, file longuement, et ne se laisse pas délayer dans l'eau, la cuite est dite gommeuse: le seul remède consiste à ne pas trop serrer la masse; si on lui conserve la fluidité convenable, il se forme deux couches dans les bacs d'attente: le grain gagne le fond, tandis que la portion visqueuse reste en dessus. En enlevant la première couche on trouve au-dessous une masse qui donne encore de bons résultats aux turbines. Quant à la partie visqueuse, on peut la mélanger aux jus de première carbonatation, elle passe alors par une nouvelle épuration.

Les masses cuites doivent rester environ huit heures dans les bacs avant d'aller aux turbines: pour les cuites gommeuses, seulement, il est bon de ne pas attendre le refroidissement complet; quand elles doivent séjourner trop longtemps dans les bacs avant le turbinage, on les recouvre d'une petite quantité d'eau, ou mieux de sirop, afin de prévenir la formation, à la surface, d'une masse cornée difficile à purger à la turbine.]

Au lieu d'opérer pour la cuite comme nous venons de le dire, on peut encore adopter le mode suivant qui consiste à ne remplir l'appareil qu'en partie au début: il faut s'arranger pour qu'il reste encore quelques centimètres de liquide au-dessus du serpentin au moment où le sirop est concentré de façon à donner la preuve au crochet léger (en écartant les doigts une goutte du liquide doit donner un filet délié qui se rompt nettement en formant un crochet). D'habitude, il faut pour satisfaire à cette condition de volume, introduire au début, dans l'appareil 40 % de la quantité totale du sirop nécessaire pour une cuite. La quantité totale du sirop se trouve ainsi divisée en 40 % introduits au début, et 60 %, soit 30 fois 2 % pour former le grain. Pour les mélis on opère sur 80 % dès le début, et on forme le grain avec 20 %, 20 fois 1 %. Ces données ne doivent d'ailleurs être considérées que comme approximative. Dès qu'on est arrivé à la preuve au crochet, on

ajoute la quantité de sirop nécessaire, (chaque fois 2 % du volume total), suivant la grosseur du grain que l'on veut obtenir. Après la première addition de sirop, on attend qu'on soit revenu au même point de concentration qu'avant pour ajouter une nouvelle quantité de liquide. On continue ainsi jusqu'à ce que, vers le 4e ou le 5e essai, les grains commencement à se montrer. On n'a d'ailleurs pas à craindre que la cristallisation cesse d'augmenter; elle s'opère d'elle même après quelques nouvelles additions de sirop faites avec soin. Je noterai seulement qu'il importe de ne jamais attendre des preuves trop fortes, car plus la cuite est légère au commencement, plus le grain se forme gros, et plus on peut prolonger la cuite. Par suite, on obtient ainsi immédiatement et comme premier jet une très-grande proportion de sucre cristallisé. Tous les cuiseurs savent que le succès du travail dépend étroitement de la nature du grain: plus le sucre est nerveux et plus il pèse; plus les cristaux sont gros, mieux ils laissent égoutter les sirops et plus la marchandise a de valeur.

Lorsqu'on a répété une vingtaine de fois environ l'addition de jus, on obtient un grain assez gros, clair, à cristaux nets et d'une densité convenable. Le grain à ce moment doit être assez solide pour ne pas s'écraser entre les doigts, même sous l'eau. A partir de ce moment, on peut essayer de cuire un peu plus serré, tout en continuant à ajouter du sirop. A chaque essai, la preuve doit être un peu plus forte que la précédente; on peut aussi rendre la cuite plus rapide et plus active, de façon à donner au grain, sous l'influence d'une chaleur plus élevée, plus de sécheresse et de solidité. On arrive ainsi à la dernière preuve qui doit être prise très-forte. L'échantillon prélevé doit alors rester sur le pouce et, en écartant l'index, on ne doit voir qu'un peu de sirop très-clair. L'échantillon, placé sur du papier écolier ordinaire, ne doit pas s'étendre et le sirop, en s'absorbant, doit laisser à la surface des cristaux bien formés et clairs. Dans ces conditions, l'appareil donnera un sucre beau, solide, dont le sirop se sépare facilement. En opérant ainsi, j'ai pu, à Tumpling, faire couler de la masse

cuite directement sur les caisses de Schutzenbach, où elle s'égouttait très-vite en laissant de gros cristaux d'un blond clair qui fournirent du sucre presque blanc. J'ai d'ailleurs obtenu dans cet essai un rendement qui prouverait bien, s'il était nécessaire de le démontrer, que ce travail est parfaitement rénumérateur lorsqu'il est mené avec attention. La nuance claire du sucre qu'on obtient ainsi provient de ce que les cristaux, composés de sucre pur, se séparent plus facilement des sirops. Dans les sucres bruts ordinaires, la nuance foncée est due habituellement à ce que la masse retient des sirops et surtout la matière extractive que l'on rencontre dans tous les produits du règne végétal. On peut d'ailleurs s'assurer de la pureté des gros cristaux en les lavant dans l'eau immédiatement à leur sortie de l'appareil à cuire. D'autre part, les gros cristaux ne s'obtiennent pas aux dépens de la quantité, comme on le croit généralement à tort. Ces deux conditions ne sont nullement incompatibles, et je crois avoir démontré de la manière la plus irréfutable, et en me fondant sur les principes les plus simples, qu'on peut obtenir des cuites plus lourdes en cuisant à gros grains qu'avec le travail ordinaire à grains fins, qu'on peut conduire l'opération dans la pratique de façon à retirer, comme sucre de premier jet, la plus grande quantité possible de cristaux. — Quant à savoir si en réalité la fabrication a intérêt à produire les plus beaux produits, à améliorer ses procédés à ce point de vue, c'est une question qui dépend des conditions de chaque marché et qui provisoirement doit rester indécise. Quelle que soit d'ailleurs la situation actuelle à ce point de vue, il n'en est pas moins vrai que cette perfection des produits est le but final vers lequel doivent tendre nos efforts et qui tôt ou tard sera universellement imposé.

Une fois le cuiseur bien familiarisé avec la méthode exposée plus haut, il peut compléter son travail par quelques autres précautions que je signalerai ici. Lorsque la cristallisation est satisfaisante, on peut, dans le dernier essai, faire descendre la température de la masse cuite dans l'appareil jusqu'à 62°. De la sorte, on assure un refroidissement plus rapide du sucre et,

comme la masse entière reste moins longtemps exposée à une température élevée, on obtient des produits de nuance plus claire. En même temps, cette température plus basse contribue à la séparation du sucre et divise les cristaux, car c'est la chaleur seule qui donne à la masse sa consistance pâteuse. Le sucre est ainsi moins dur, plus facile à sortir de l'appareil et à mettre dans les formes, et dans les opérations ultérieures il est moins compact, sa division est moins pénible. La masse cuite, au moment où elle sort de l'appareil, doit être assez concentrée pour n'être presque plus fluide. Cette consistance s'obtient d'ailleurs sans aucun danger si, au commencement, le travail a été bien conduit, et la cuite tenue assez légère. Néanmoins, je ne dois pas dissimuler que l'opération exige beaucoup d'attention et de soin; elle dure une heure de plus qu'avec les anciennes méthodes; aussi pourrait-il fort bien se faire qu'elle ne triomphe pas de la routine chez ce que l'on appelle les hommes du métier.

Avant d'aller plus loin, je ne puis me dispenser de dire quelques mots sur la manière de prendre les preuves. On examine la solution sucrée au moment où elle coulé du robinet d'épreuve, ou on l'observe sur une plaque de verre, ce qui permet d'étudier facilement sa formation et la grosseur des cristaux. La cristallisation peut d'ailleurs, suivant les cas, maintenir ou faire disparaître la transparence de la masse en ébullition. Un grain nerveux et fort se laisse voir dans la masse claire; au contraire, lorsqu'il se forme des petits cristaux, jusqu'au moment où ils sont complètement développés, la masse devient blanchâtre ou terne. On doit d'autre part éviter avec soin de serrer entre les doigts l'échantillon prélevé, de façon à pouvoir examiner si le sirop est clair et s'il se sépare complètement des cristaux. Nous verrons plus loin l'importance de cette recommandation lorsqu'il s'agit de petits cristaux. Il est évident que, pour apprécier surement une preuve, il faut beaucoup d'attention, d'habitude et d'expérience. Toutefois, on peut employer un procédé particulier pour contrôler d'une manière suffisamment exacte la marche de chaque partie de l'opération.

On fait usage à cet effet d'un manomètre mis en communication, comme nous l'avons vu précédemment, avec le serpentin, à la suite du robinet d'introduction de vapeur. Si le retour d'eau est disposé de façon à ce que l'eau provenant de la condensation s'écoule librement, il est clair que le manomètre indique à chaque instant la pression exacte de la vapeur. Or, pour une ouverture constante du robinet d'introduction, la tension de la vapeur est fonction du degré de concentration du sirop. Si celui-ci est très-étendu, il absorbe naturellement plus de vapeur et par suite il est impossible que le manomètre accuse une pression un peu forte. Mais, au fur et à mesure que la densité du liquide augmente dans l'appareil, la condensation de vapeur diminue et le manomètre accuse des pressions successivement croissantes, qui finissent par atteindre celles de la chaudière elle-même. Le manomètre permet donc d'apprécier, par les pressions qu'il indique, le degré de concentration des liquides, et ces indications sont assez exactes et assez sensibles pour que, dans la cuite ordinaire au filet, on puisse se fonder sur elles pour déterminer le moment où la cuite est à point. Cette sensibilité se reconnait du reste chaque fois que l'on ajoute à la cuite des quantités nouvelles de sirop. Sous l'effet de la température plus basse du liquide ainsi ajouté et surtout par suite de son état de dilution, l'aiguille du manomètre tombe immédiatement, pour reprendre peu à peu son ancienne position dès que le liquide est revenu au degré initial de concentration. L'appareil manométrique fournit donc des points de repère qui dispensent des preuves ultérieures, dès qu'on les a déterminés par un essai préalable. Pour rendre plus sensibles les indications du manomètre, on peut, dès que la cuite est concentrée, c'est-à-dire dès qu'elle donne la preuve au filet sans que le grain paraisse encore, réduire l'ouverture du robinet pour le reste de l'opération, de façon que la vapeur du serpentin n'accuse plus qu'une atmosphère de pression effective. En laissant le robinet ainsi à demi-fermé, on est plus maître de la marche du travail, on obtient un meilleur vide sans augmenter la durée de l'opération, car, à partir de cet instant, la cuite ne

consomme pas davantage de vapeur. Le manomètre, quand on l'utilise ainsi, constitue le moyen de contrôle le plus facile et le plus simple pour la concentration de jus et la dépense de vapeur.

Le prix de revient de l'opération de la cuite peut s'apprécier ainsi qu'il suit:

50,000 k^{os} de betteraves donnent d'après ce que nous avons dit plus haut 11,700 k^{os} de sirop à 50 %.
Comme on retire 6,500 - de masse cuite à 90 %.
On voit que l'on a 5,200 k^{os} d'eau à évaporer dans la cuite.

Or, en admettant qu'un k^{mo} de houille évapore 7 k^{os} d'eau, on voit qu'il faudrait $\frac{5,200}{7}$ ou 743 k^{os} de houille, ce qui, à 36^{f} les 100 k^{os}, représente 26^{f},75. En rapportant à la quantité initiale de jus brut, (45,000 k^{os}), cette dépense représente 0^{f},59 par 1000 k^{os}. Comme main-d'œuvre, on peut compter de 1 jour ½ à 2 jours de travail par 50,000 k^{os}. Enfin, dans la cuite, 1^{mc} de surface de chauffe évapore de 60 à 75 k^{os} d'eau. Il faudra donc, pour un travail de 50,000 k^{os} par 24 heures, de 7 à 8 mètres de surface de chauffe.

Chapitre III.

Traitement des masses cuites. Extraction du sucre.

Les jus sucrés ramenés dans l'appareil de cuite jusqu'au point de cristallisation portent le nom de masses cuites. La composition de ce produit dépend naturellement de la pureté des jus après le seconde filtration, et, à même traitement, de la qualité des betteraves. Si, par exemple, on travaille des betteraves renfermant beaucoup de sels et si, à la défécation, on n'a pas éliminé une quantité de ces sels plus forte que pour des jus de bonne qualité, il est évident que la masse cuite fournie par les premiers retiendra beaucoup plus de sels que la

masse donnée par les seconds. Les mêmes conclusions s'étendent aux jus chargés de matières organiques, ces dernières contribuant comme les sels à empêcher la cristallisation du sucre. On comprend dès-lors sans peine comment les masses cuites obtenues dans différentes fabriques et dans différents pays doivent contenir des proportions très-variables de sels et de matières étrangères.

La composition ordinaire des masses cuites est comprise entre:

73 et 84 %	de sucre,
16 et 6 %	de matières étrangères,
et 11 et 10 %	d'eau.
100 100 %	

Les 10 % d'eau qui figurent dans la composition précédente se réduisent dans la cuite sèche à 5 % et, dans ce cas, la proportion des autres éléments augmente dans le même rapport.

Naturellement aussi, et comme conséquence de ce qui précède, les rendements en sucre brut que l'on retire de ces masses sont eux-mêmes très-variables dans les diverses fabriques. Nulle part ne se révèle plus clairement la différence entre les qualités bonnes ou mauvaises des betteraves, et l'habileté du fabricant doit surtout s'appliquer à rectifier les jus de mauvaise nature, de façon à ce que leurs masses cuites donnent encore un rendement acceptable. Il faut naturellement, pour assurer ce résultat, augmenter les moyens de purification ou de défécation habituellement employés, et, s'il en résulte un léger accroissement dans les frais de fabrication, le rendement s'élève par contre dans une plus forte proportion, car chaque partie de matières étrangères qu'on élimine augmente d'environ deux parties de sucre le rendement de la masse cuite. Le fabricant n'a donc pas à hésiter; la seule question pour lui est de choisir les procédés de purification ou leur mode d'action, de façon à réaliser le plus grand profit possible.

Malheureusement, tous les fabricants ne comprennent pas l'importance de ce problème; souvent, lorsqu'ils obtiennent de beaux produits, le mérite n'en est pas dû à leurs efforts, mais résulte de l'excellente qualité de leurs betteraves dont les jus

renferment très-peu de sels et sous forme de combinaisons inoffensives ou à peu près inoffensives pour la fabrication.

Souvent, le même fabricant, placé dans des conditions différentes, avec d'autres betteraves, obtiendrait de tout autres résultats, et l'on en pourrait citer de nombreux exemples. Du reste, il faut le reconnaître, dans l'état actuel de l'industrie sucrière, il est souvent impossible d'annuler d'une manière complète et avec certitude l'effet des éléments nuisibles que renferment les jus.

Toutes les données que l'on a recueillies sur le rendement des masses cuites sont, par suite de la qualité très-diverse des betteraves, d'une valeur essentiellement limitée et locale.

Ainsi, Otto indique qu'une certaine fabrique obtenait de 100 parties de masse cuite:

46,5 % de sucre en premier jet,
18,1 % - en second jet,
6,2 % - en troisième jet,

soit en tout 70,8 %, ce qui correspond à 29,2 % de mélasse ou de pertes.

Pour ma part, j'ai vu des rendements de:

68,8 % en premier jet,
8,5 % en deuxième jet,
6,0 % en troisième jet,

soit 83,3 % au total et par suite 16,7 % de pertes et mélasses.

Mais ces exemples ne sont susceptibles d'aucune généralisation et, dans chaque cas, il vaut mieux estimer le rendement d'après la proportion du sucre et des matières étrangères dans la masse.

Dans la pratique, on admet d'habitude qu'une partie de matières étrangères empêche la cristallisation d'une partie de sucre, mais c'est un fait bien connu qu'une partie de soude caustique empêche plus de sucre de cristalliser qu'une partie de phosphate de potasse ou une partie de magnésie. L'hypothèse précédente n'est donc pas théoriquement exacte. Souvent

d'ailleurs, ce que l'on appelle la mélasse laisse encore cristalliser du sucre lorsque le temps et la chaleur agissent sur elle. Enfin, les conditions climatériques, la conservation des betteraves au début et à la fin de la campagne, les méthodes de fabrication, sont autant d'éléments qui influent sur le résultat final ou le rendement.

Comme on le voit, et comme nous l'avons déjà signalé à diverses reprises, nos connaissances sur la nature des matières étrangères qui produisent les mélasses dans la masse cuite sont donc encore très-incomplètes, et l'influence nuisible de ces principes sur la cristallisation a besoin d'être étudiée d'une manière très-attentive.

Si, dans cet ouvrage, et malgré l'observation qui précède, nous avons admis qu'une partie de matières étrangères retenait dans les mélasses un poids de sucre égal au sien, nous n'avons eu en vue, en agissant ainsi, que de fournir des chiffres plus faciles à établir ou à vérifier dans la pratique.

On ne saurait extraire de la masse cuite, en une seule fois, la totalité du sucre cristallisable qu'elle peut fournir; on n'y arrive qu'en divisant l'opération, et par plusieurs cristallisations successives, de manière à obtenir, suivant l'expression usuelle, des sucres de premier, de second, ou de troisième jet. Dans les pages qui suivent, nous examinerons quelle est la méthode la plus avantageuse pour retirer des masses cuites un sucre brut commercial. Plus le travail sera rapide, moins il faudra d'opérations pour retirer sous forme de sucre de premier jet la plus forte proportion possible de sucre, et plus la méthode sera avantageuse. Il ne faut pas oublier en effet que tout surcroit de travail, toute opération de cuite complémentaire, représentent une dépense effective et de temps et d'argent.

Pour obtenir les premiers jets, c'est-à-dire la plus grande partie du sucre, on emploie d'habitude trois sortes d'appareils, savoir:

les formes,
les caisses de Schutzenbach,
les turbines.

Lorsqu'on emploi les formes, le taux % de sucre qu'on obtient comme produit de premier jet dépend d'abord de la teneur en sucre de la masse cuite. Il est également fonction de la quantité d'eau plus ou moins forte laissée à la masse dans l'opération de la cuite. Dans la cuite en grain, (et c'est celle que nous prendrons pour base comme la plus rémunératrice), on laisse à la masse 10 à 11 % d'eau, de manière à ce qu'elle puisse couler librement et sans difficulté de l'appareil. Cette quantité d'eau forme, avec la majeure partie des sels étrangers et un poids égal de sucre, une dissolution saturée ou sirop. Cette partie liquide, qui représente 33 % de la masse ($2 \times 11 + 11$), s'écoule par l'orifice inférieur de la forme, et on obtient, comme produit de premier jet, pour 100 parties de masse cuite, $100 - 33$ ou 67 % de sucre cristallisé. Le sucre qu'on retire ainsi porte le nom de sucre vert; il est loin d'être absolument pur, car une partie des matières étrangères ou du sirop reste adhérente aux cristaux et leur donne, suivant sa quantité et sa nature, une nuance qui varie du jaune-blond clair au brun foncé. Au point de vue de l'analyse, les sucres verts ont, comme on le comprend, une teneur en sucre assez variable. D'habitude, et suivant le degré de pureté des jus, ils accusent de 90 à 96 % de sucre pur, et leur prix commercial s'établit d'après cette richesse.

Le fabricant a intérêt à obtenir, comme nous l'avons dit, la plus grande proportion possible de produits de la façon la plus simple et dans les conditions les plus économiques. Il doit en même temps chercher à fabriquer des sucres dont la vente soit immédiate et aussi avantageuse que possible. Or, on augmente le rendement en sucres de premier jet en cuisant plus serré, c'est-à-dire en laissant moins d'eau dans la masse. On comprend en effet que, d'une part, l'eau retient ainsi en dissolution moins de sels étrangers, et d'autre part, les cristaux plus serrés et plus compacts empêchent l'écoulement complet des sirops.

Les mêmes motifs expliquent l'avantage que l'on trouve à employer des formes vergeoises ou bâtardes de grande hauteur,

lorsqu'on cherche à élever autant que possible le rendement en sucre de premier jet. Le sirop descend en effet entre les cristaux en vertu des lois de la pesanteur jusqu'à ce que la force d'attraction qui s'exerce entre le sucre cristallisé et le liquide arrive à faire équilibre à la pression hydrostatique. Cette dernière diminue à mesure que le sirop s'écoule, et il arrive un moment où elle n'est plus suffisante pour l'expulsion des dernières parties liquides. Plus la forme est haute, plus aussi est forte la pression due à la colonne de sirop et mieux celui-ci s'écoule. Il en résulte que, le premier jour, l'écoulement de sirop est plus considérable que les suivants et à la fin il reste à la base de la masse cristallisée une hauteur de 8 à 10 centimètres de sucre imprégné de sirop ou humide. Cette partie porte dans la pratique le nom de tête lorsqu'il s'agit du travail des formes, de dôme avec les caisses. La tête sera donc d'autant plus épaisse que la texture cristalline sera plus compacte, c'est-à-dire qu'on aura cuit plus serré, et réciproquement. Avec les formes, et suivant la qualité de la masse, on obtient en premier jet de 60 à 70 % de sucre vert.

Mais, en ajoutant à la pression du liquide la pression de l'air, on comprend qu'on puisse faire écouler également le sirop qui reste, dans le travail précédent, à la tête du pain.

Dans ce but, on dispose habituellement les formes pleines de façon que leurs pointes reposent sur les ouvertures d'un tuyau horizontal dans lequel on maintient le vide à l'aide d'une pompe. La pression atmosphérique déplace dans ce cas très-rapidement la totalité du sirop retenu dans la forme. Ce procédé constitue l'égouttage forcé. On obtiendrait d'ailleurs un résultat analogue mais incomparablement plus rapide, si on faisait agir sur la masse cristalline contenue dans la forme et de haut en bas de l'air comprimé. Une pression de 2 ou 3 atmosphères par exemple, déplacerait certainement la totalité du sirop dans de grandes formes en 12 heures.

Au lieu de la pression, on a également appliqué avec succès, pour arriver au même résultat, différentes autres actions, et notamment la force centrifuge.

Dans ce dernier procédé, les formes sont disposées, la pointe en dehors, sur la circonférence d'un disque auquel on imprime un mouvement rapide de rotation. L'effet de la force centrifuge détermine l'égouttage de la totalité du sirop. Ces machines centrifuges pour les formes n'ont pu s'introduire dans la pratique à cause de leur prix élevé, mais d'autres turbines, dont nous parlerons plus loin, ont été adoptées d'une manière générale à cause de la rapidité de leur travail.

Quand on veut produire du sucre blanc, on procède au clairçage: dans cette opération, on verse sur les pains une dissolution de sucre pur qui déplace le sirop resté dans les cristaux. Ce travail sera du reste traité d'une manière plus complète à propos du travail des raffineries.

Dans la seconde méthode, la masse cuite est versée dans les caisses de Schutzenbach où elle se dépouille du sirop qu'elle renferme. Ces caisses avaient été proposées dans le principe par Schutzenbach pour le travail des produits communs. Elles ont une forme carrée et sont munies de fonds à clairevoie, comme l'indique la fig. 161. On y jette le sucre cristallisé et le sirop s'écoule facilement grâce à la grand surface du grillage inférieur. Par suite de leur faible hauteur et de leur large base, ces

Fig. 161.

caisses se prêtent facilement au travail et peuvent se superposer. Dans ce cas, un double fond permet de recueillir et de déverser à l'extérieur le sirop qui s'écoule.

Mais, en opérant ainsi, la portion de sucre immédiatement en contact avec le fond reste chargée de sirop, et si cette partie, qui forme le dôme, a seulement une hauteur de 12 ou 15^{mm}, le rapport entre le sucre égoutté et le dôme ou la tête est plus défavorable qu'avec les formes coniques, car la surface est plus considérable et la hauteur de sucre purgé est moindre. Pour éviter cet inconvénient, on eut l'idée, après avoir empli les caisses, de les incliner de façon que le sirop n'occupât plus qu'un des côtés de la caisse, et que le dôme ne représentât plus que le cinquième environ de la surface. Mais, dans ces conditions encore, le rapport entre le sucre et le dôme, comme le rendement en premier jet, étaient plus défavorables qu'avec les formes. On fut donc amené à augmenter les caisses en modifiant leur forme. La fig. 162 représente l'appareil auquel on s'est arrêté. Ces caisses peuvent contenir 100 k^{os} et plus

Fig. 162.

de masse cuite, et n'ont plus de fond à claire-voie. Une fois qu'elles sont emplies avec la masse cuite au degré voulu, on attend au lendemain et quelquefois plus tard que la cristallisation soit finie pour enlever le tampon ménagé à la partie inférieure et faire écouler le sirop comme dans les grandes formes. Malgré ce perfectionnement, comme les caisses sont moins hautes que les formes, qu'on y verse la masse moins cuite que pour ces dernières, leur rendement est en général inférieur comme premier jet à celui des formes. Ainsi, Otto cite une fabrique où l'on n'obtenait de la sorte que 46,5 % de premier jet, tandis qu'avec les formes on atteignait un rendement de 68 %.

Néanmoins, si les grandes caisses ne présentent pas d'avantage sur les formes pour la production des premiers jets, les petites caisses de Schutzenbach n'en restent pas moins très-utiles pour les sous-produits, par suite de leur grande surface. Elles donnent alors des résultats supérieurs à tous les autres systèmes.

La troisième méthode et la plus employée pour séparer le sucre des mélasses est celle des turbines. Nous avons déjà décrit les appareils allemands à propos de la production du jus. Ceux qu'on emploie pour le turbinage du sucre sont construits sur le même principe, mais avec des dimensions un peu plus faibles.

La fig. 163 représente les types de turbines généralement employées en Angleterre et dans lesquelles l'axe de la turbine *b*, maintenu à la partie supérieure par un palier fixe, repose

Fig. 163.

en bas sur une crapaudine *h* dont on peut régler la position à l'aide du levier *p*. Les liquides séparés au turbinage s'écoulent par la gouttière *f*. — Cette forme d'appareils a l'avantage, en dégageant le haut du tambour *a*, de rendre les chargements plus faciles.

Une autre disposition, qu'on trouve surtout en usage dans les usines françaises, est représentée dans la fig. 164. La

transmission de mouvement s'effectue à l'aide de cônes de frottement *m n*, ce qui rend la marche moins bruyante et réduit dans une forte mesure les chances d'accident. Les cônes sont d'ailleurs maintenus en contact par l'action d'un ressort *g* qui agit à l'extrémité de l'arbre *p s*.

Fig. 164.

Lorsqu'on verse la masse cuite à l'état pâteux dans la turbine, la matière se répartit uniformément en vertu de la force centrifuge à la périphérie du tambour. La toile métallique qui

forme la surface intérieure retient alors les cristaux et laisse écouler le sirop liquide. Avec une vitesse convenable, la force centrifuge ainsi développée représente sur le sirop une pression de 2 à 3 atmosphères (20 à 30 mètres d'eau). Les turbines pourraient donc être considérées comme des caisses de Schutzenbach dans lesquelles la couche de sucre serait très-mince, et le sirop soumis à une pression considérable. Cette augmentation de pression et la faible épaisseur de la couche solide rendent l'opération très-rapide et l'égouttage qui, avec les autres systèmes, exige des journées entières, se fait ici en quelques minutes.

Or, cette rapidité constitue un avantage réel, là où les produits fabriqués peuvent être immédiatement utilisés, soit en les livrant de suite au commerce, soit en les envoyant au raffinage.

Cet avantage disparait lorsqu'on n'a pas le placement immédiat des marchandises. Dans ce cas, une petite économie de temps n'a qu'une importance secondaire.

Du reste, la rapidité de travail des turbines est plus apparente que réelle et, en tout cas, elle est beaucoup moindre qu'on ne se le figure généralement. Chaque turbinage, il est vrai, ne dure que quelques minutes, mais comme on n'opère chaque fois que sur de très-faibles quantités, le nombre des opérations est considérable. D'autre part, avant qu'on puisse le turbiner, le sucre doit avoir refroidi lentement et, si l'on veut obtenir le maximum de rendement en premier jet, ce refroidissement prend au moins 6 jours; c'est une perte de temps qu'il faut faire entrer en ligne de compte. Avec les formes, en 6 jours, une bonne masse cuite est devenue propre à l'expédition. Les turbines n'ont donc pas à ce point de vue un avantage marqué, au moins pour les sucres de premier jet. Leur supériorité réelle pour ces premiers jets tient uniquement, selon moi, à ce que le travail, étant mécanique, s'effectue vite et facilement, qu'on peut au turbinage atténuer ou corriger les défauts, soit de la fabrication, soit de la cuite, et ce sont ces côtés de la question qui ont, ce me semble, motivé l'adoption générale des turbines. Si, par exemple, la masse est glaireuse,

le sirop visqueux, l'égouttage ne se fait que difficilement dans les formes, et on n'obtient qu'un sucre coloré de mauvaise qualité. Les turbines au contraire, assurent l'égouttage rapide avec ces masses de mauvaise nature et, si elles diminuent un peu le rendement, elles donnent au moins des produits de belle apparence.

D'un autre côté, le sirop ne s'écoule que difficilement de la masse, si l'on a cuit trop serré, et ce défaut ne saurait se corriger dans les formes elles-mêmes. Il faut donc, avec celles-ci, un cuiseur expérimenté et soigneux. En employant au contraire les turbines, la cuite serrée n'offre que des avantages comme nous le verrons plus loin.

On reproche souvent aux turbines de briser les cristaux de sucre, et beaucoup d'auteurs ont reproduit cette assertion, en s'appuyant sur l'autorité de ce qu'on appelle des praticiens; pour ma part, je ne puis que maintenir mon opinion déjà ancienne à ce sujet. Si, dans les turbines, la masse solide se trouve pressée et comprimée sur la surface du tambour, ce mouvement ne produit que très-peu de frottements de nature à briser les cristaux, car ceux-ci sont assez durs pour ne pas s'écraser, même dans l'eau, sous la pression du doigt. (Voir la cuite en grain.) J'en citerai d'ailleurs comme preuve les usines de Kiew où l'on travaille annuellement 75,000,000 de betteraves, et dont les produits nerveux et denses sont très-appréciés sur les marchés de Russie où l'on attache de l'importance au gros grain. Mais, que de petites fabriques où l'on cuit peu serré, où l'on a par suite des petits cristaux agglomérés par les sirops, ne retirent aussi de la turbine que de petits grains, cela n'a rien d'étonnant. Les masses qu'elles travaillent n'offrent, même avant turbinage, aucune résistance à la pression du doigt; elles ressemblent à ce qu'on obtient au commencement de la cuite en grain. Quand on étudie en effet les phénomènes de cette cuite, on trouve que les cristaux, d'abord extrèmement petits, s'augmentent rapidement lorsqu'on prolonge l'ébullition, en vertu des forces cristallogéniques. Lorsque, après une vingtaine d'additions de jus, on examine à la loupe la cris-

tallisation, on trouve ça et là d'anciens cristaux devenus très-gros et entre eux des cristaux plus petits, de formation plus récente et à l'état rudimentaire. Ces derniers à leur tour se développeront dans les mêmes conditions, si l'on prolonge la cuite.

Lors donc qu'on arrête brusquement la cuite et de bonne heure, les mouvements de la masse se trouvant brusquement paralysés par suite du refroidissement rapide, les petits cristaux en voie de formation n'ont ni le temps ni le moyen d'arriver au volume voulu.

Dans les formes, le repos fait que la masse compacte retient plus facilement ces cristaux; d'autre part, le contenu de la forme étant à une température suffisante et restant longtemps fluide, les petits cristaux se déposent entre les gros, durcissent un peu, et se retrouvent par suite dans les produits de premier jet. Au contraire, pour le travail des turbines, on est obligé de briser la masse cristalline; les petits cristaux se trouvant ainsi plus isolés sont séparés les uns des autres par la force centrifuge et passent avec les sirops à travers les mailles du tissu métallique.

Ces considérations suffisent pour expliquer comment, avec des masses cuites identiques, les turbines doivent donner moins de sucre de premier jet que les formes. On comprend d'ailleurs aussi pourquoi la formation de gros cristaux dans l'appareil de cuite est une des conditions essentielles d'un travail satisfaisant avec les turbines.

La quantité d'eau qu'on laisse à la masse dans la cuite joue également un rôle important dans le travail avec les formes, il faut laisser à la masse 10 % d'eau environ, de façon que le sirop soit assez fluide (36° Baumé) pour s'écouler librement, sans qu'on soit obligé de recourir à une action mécanique. Avec les turbines au contraire, dans lesquelles on dispose d'une force énergique, le sirop n'a pas besoin d'être aussi fluide, ce qui entrainerait une perte de sucre; il süffit que le sirop puisse encore égoutter sous l'action de la force centrifuge. Aussi, ne laisse-t-on à la masse que 5% d'eau, ce qui correspond à un degré de 42° Baumé pour le sirop. A cette densité, le sirop n'exerce sur le sucre qu'un pouvoir dissolvant insignifiant.

Mais, dans ces conditions, la masse sèche possède une consistance très-grande, tandis qu'il faut, pour un bon turbinage, que la masse soit assez malléable pour que la force centrifuge la relève sur les parois du tambour et la répartisse uniformément. Aussi, ajoute-t-on à la masse ainsi obtenue une quantité de sirop à 42° suffisante pour lui rendre la plasticité voulue. Pour diviser la masse sèche et l'imprégner uniformément de sirop à 42°, on emploie avec avantage le mélangeur représenté fig. 165.

Fig. 165.

Des lames montées sur un axe horizontal divisent la masse jetée dans la trémie, de façon à ce que tous les morceaux puissent passer dans l'intervalle laissé entre les lames et les parois de l'appareil. Dans la même opération, le mélange du sirop avec la masse se fait d'une manière très-uniforme, et, après le passage à la machine, il ne reste aucun morceau qui ne soit parfaitement imprégné de sirop. Ces machines ont donc

le double avantage, et de produire un très-bon travail, et de réaliser une importante économie de main d'œuvre. La fig. 166 représente un appareil basé sur les mêmes principes.

La masse étendue qui sort ainsi du mélangeur peut être immédiatement livrée aux turbines, dont la rotation rapide (1000 à 1200 tours par minute) détermine un égouttage complet du sirop en très-peu de temps. . En plaçant un morceau de bois

Fig. 166.

entre le tambour et son enveloppe, on peut, d'après la quantité de sirop turbiné qui coule, contrôler le travail de l'appareil et déterminer l'instant où l'opération est terminée. On arrête alors la turbine à l'aide du frein, on retire le sucre avec une petite pelle en bois, et on le met immédiatement en sacs. On obtient ainsi, d'après ma propre expérience, 66 à 68 % du poids de la masse en sucre blond marchand; on voit qu'en suivant le mode de travail qui vient d'être indiqué le rende-

ment des turbines est à très-peu près aussi élevé que celui des formes.

Enfin, la température du local où s'effectue le turbinage est un élément qui ne saurait être négligé. — On sait qu'une dissolution sucrée marquant 36° Baumé est à peu près saturée à la température ordinaire de 18°. Si la température s'élève, le pouvoir de dissolution que possède l'eau pour le sucre augmente. Il suit de là que, plus la température de la salle des turbines est élevée, plus il y a de sucre dissout dans le sirop et entrainé avec lui, moins l'on obtient de produits. Il faut donc que les sirops marquent encore 40 ou 42° Baumé dans un local chaud, ou il faut veiller à ce que la température de la salle soit maintenue dans des limites moins élevées.

Mais, si les turbines ne présentent pas d'avantage sur les autres systèmes quand on veut extraire de la masse cuite du sucre blond ou jaune, leur supériorité est incontestable et leur emploi presque forcé, lorsqu'on cherche à produire du sucre blanc.

Avec les formes ou les caisses, on est forcé, pour enlever au sucre les matières colorantes qu'il retient, de verser à la surface de la masse cristallisée une dissolution de sucre pure, incolore et saturée. Il faut d'ailleurs plusieurs jours pour que cette dissolution, en descendant dans la masse, déplace les matières étrangères. Cette opération porte le nom de clairçage. Avec les turbines, il suffit d'employer du sirop de qualité inférieure qui, grâce à l'action mécanique, entraine rapidement toutes les impuretés du sucre; en outre, l'emploi de la vapeur dans la turbine a pour effet, non seulement de blanchir le sucre, mais encore de le sécher. Toutes ces opérations n'exigent ensemble que quelques minutes. On recueille à part la dissolution sucrée qui s'écoule lorsqu'on fait agir la vapeur sur le sucre; cette dissolution, qui prend le nom de sirop de clairçage ou claircе, sert dans l'opération suivante pour claircer une autre partie de la masse, et elle est suffisamment incolore et pure pour que l'effet soit complet.

Quand on fait agir la vapeur, il importe d'éviter qu'elle n'entraîne avec elle dans la turbine de l'eau de condensation, qui dissoudrait et ferait passer dans les sirops une trop forte proportion de sucre. Malgré toutes les précautions prises dans le blanchiment du sucre, il se produit toujours une petite perte. Aussi, avec une masse cuite de bonne qualité, on n'obtient guère en moyenne qu'un rendement de 60 % de sucre blanc titrant 98 à 99 % de richesse.

Il peut être utile ici de résumer et de comparer les dépenses tant d'installation que de travail journalier pour les grandes formes et pour les turbines.

Pour une mise en œuvre journalière de 50,000 k^os^ de betteraves, on obtient à 12 % 6,000 k^os^ de masse cuite. Pour cette quantité, on a besoin de 120 formes au plus, ce qui à 7^f^,20 par forme représente 864^f^. Mais, si l'on veut produire du sucre blanc, les cristaux doivent rester 8 jours en forme: la dépense des formes est donc dans ce cas de 8 fois 864 francs soit . . . . . 6,912^f^

Les pots ou les lits sur lesquels on dispose les formes coûtent, à 1^f^,80 par forme et pour la moitié du nombre en service . . . . . 1,728^f^

Total des frais d'installation . . . . . 8,640^f^

Avec les turbines, on peut traiter dans chaque opération qui dure ¾ d'heure 75 k^os^ de masse cuite, on peut donc faire 30 chargements en 24 heures, mais en fait on ne dépasse pas le nombre de 25. Chaque turbine peut donc suffire pour 75 × 25 soit 1875 k^os^ de masse cuite. Pour 6000 k^os^ il en faudra donc $\frac{6000}{1875}$ ou 3,2 soit, en tenant compte des réparations fréquentes, 4 appareils. Ces 4 turbines reviennent, y compris leurs accessoires 4 à . . . . . 8,640^f^

à quoi il faut ajouter une machine à vapeur, la tuyauterie, les transmissions, etc. . . . . 2,160^f^

A reporter . . . 10,800^f^

Report . . .	10,800f
Un mélangeur et sa transmission	720f
Enfin, les bacs à rafraichir la masse avant de la porter aux turbines, soit au moins	1,440f
Total des frais d'installation	12,960f

Les turbines représentent donc une dépense de première installation, notablement plus élevée que les formes.

En ce qui concerne la main-d'œuvre dans les deux systèmes, et en négligeant de part et d'autre le chargement, on trouve que les formes exigent, pour le transport sur les planchers, le clairçage, le dépotage et la réduction des pains en morceaux . . . . . 10 ouvriers

Avec les turbines, il faut pour le service des appareils	2 -
Pour diviser et transporter le sucre . . .	2 -
Soit par poste	4 ouvriers
Et par journée de 24 heures	8 ouvriers.

On voit que les turbines exigent un peu moins de main-d'œuvre que les formes, mais en revanche leurs autres frais sont plus considérables, car on doit faire entrer en ligne de compte le combustible des machines, l'usure des appareils et les réparations, dont la dépense s'élève au moins aussi haut que les frais de remplacement des formes mises hors de service.

La préparation de la clairce pour les formes est très-simple, et ne représente pas de grands frais. Cette clairce exige environ 30 % de la masse cuite, soit, dans le cas que nous examinons, 1500 k^{os} de sucre par jour. Ce sucre n'est d'ailleurs pas perdu, car le clairçage permet de retirer environ 68% de sucre blanc (au lieu de 60% que donnent les turbines). On recueille donc dans les formes 8 % soit 480 k^{os} de ce sucre, le reste est retrouvé ensuite comme sirop de clairce.

En partant de ces données et en tenant compte soigneusement des conditions locales, le fabricant peut, dans chaque cas, déterminer quel est pour lui le mode le plus avantageux pour la production des premiers jets.

Une fois ces premiers jets produits, et ils représentent environ 60 %, les 40 % de sirop vert que l'on recueille sont concentrés de nouveau de 12 % environ, de sorte que sur 40 k^os^ de sirop on obtient 35^k^,2 de masse recuite qu'on laisse cristalliser lentement dans un local chaud, dans de grands bacs et à une température de 35 à 40°.

[Les bas produits se cuisent tous au filet, c'est-à-dire que l'on amène le sirop au degré convenable pour la cristallisation, et qu'on laisse la cristallisation s'effectuer ensuite lentement dans les bacs. La cuite au filet est des plus simples; toute la difficulté consiste dans la mise en route. Souvent, en effet, l'ébullition s'annonce par des mousses abondantes dont il n'est pas toujours facile de se rendre maître. Par suite de cette tendance on doit commencer avec peu de mélasse, et pourtant, dans l'interêt de la cuite même il est essentiel d'introduire dès la première charge la plus grande quantité possible de sirop. Le point délicat est de satisfaire également à ces deux exigences. Il faut tâcher d'évaporer avec 18 pouces de vide et 3^k^ de pression manométrique; mais si la cuite mousse trop on doit abandonner le vide à lui-même. Une fois l'ébullition régulièrement établie, on continue l'alimentation soit par charges, soit d'une manière constante, mais en se guidant sur ce fait que la quantité de mélasse introduite ne doit jamais être suffisante pour amener le refroidissement de la cuite et arrêter l'ébullition: On s'arrête dès que le 3^e^ serpentin est noyé. La concentration se poursuit alors comme d'ordinaire; la cuite est terminée lorsque la preuve donne un filet long et consistant, et qu'une goutte de sirop en tombant sur l'angle se fige, présente l'apparence d'une goutte de suif, et résiste bien à l'action dissolvante de l'eau. On prend naturellement les preuves d'autant plus fortes que le séjour dans les emplis doit être de plus courte durée. En tous cas, il est essentiel d'envoyer les cuites très-chaudes dans les emplis, et dans ce but, si on a laissé trop monter le vide, à la fin de l'opération, on arrête la pompe à air, on casse le vide, et on laisse la masse se réchauffer jusqu'à 75 ou 80° au minimum.

On a quelquefois essayé, pour les sirops de second jet, ce que nous appellerons la cuite mixte; c'est-à-dire que le grain étant formé avec des sirops de premier jet ou termine la cuite avec des mélasses étendues au degré convenable et soumises à une filtration sur le noir. Dans ces conditions, le grain grossit aux dépens du sucre contenu dans les mélasses. Malheureusement l'opération ne réussit que quand on travaille des produits d'une pureté exceptionnelle.]

Dans les emplis, et suivant la proportion plus ou moins grande de matières étrangères que renferme la masse, il se sépare de nouveau plus ou moins de sucre sous forme de cristaux. Si, par exemple, la masse contient encore sur 100 parties solides 73 % de sucre et 27 % de substances étrangères, on pourra compter sur un rendement de 26 % par 100 k^{os} de matières solides, soit, pour 100 de masse cuite initiale, 35,2 $\times$ 26 ou 9,1 pour 100 de sucre brut. Pour augmenter ce rendement, beaucoup de fabricants ont coutume de soumettre à une filtration spéciale sur le noir les sirops qui s'écoulent des premiers jets. Ce fait prouve seulement qu'on aurait intérêt à mieux purifier les jus avant de les cuire. Les jus plus purs cuiraient en effet plus facilement, leur masse cuite donnerait des cristaux plus gros et plus nerveux, on obtiendrait donc plus de rendement en bon sucre et des sirops plus purs pour le traitement des seconds jets.

La pureté plus ou moins grande des dissolutions sucrées exerce également une influence très-sensible sur le temps nécessaire pour une cristallisation complète. Il ne faudrait pas toutefois conclure de ce fait que la cristallisation sera d'autant plus avantageuse qu'on aura laissé plus longtemps la masse en repos. Dans la pratique, cet avantage a ses limites et on ne doit jamais dépasser une durée de 8 jours à 4 semaines suivant la qualité des produits.

Pour obtenir les sucres de second jet à l'état commercial aussi promptement que possible, la méthode la plus simple et la plus lucrative me parait être toujours de faire égoutter les masses dans des caisses de Schutzenbach et d'ajouter la masse

cristalline qu'on obtient ainsi aux jus de la fabrication courante avant leur filtration. Les seconds jets contiennent en effet d'ordinaire entre 88 et 90 de sucre sur 100 de matières solides; ils sont donc plus purs que les jus fournis directement par la betterave, et tout en les enrichissant, ils les rendent plus propres à la cristallisation. Les jus ainsi additionnés de sucre exigent moins de combustible et, étant plus riches en sucre, ils se conservent mieux; grâce à la pureté plus grande des matières, la cuite se fait plus vite. Cette méthode abrège donc la durée de la fabrication et permet de travailler sans dépense spéciale la totalité des seconds jets pendant toute la durée de la campagne. A la fin du travail, il ne reste plus ainsi qu'une quantité insignifiante de masse non cristallisée.

Nous avons vu dans ce qui précède que, sur 100 parties de masse cuite, on peut retirer:

60 % de sucre de 1er jet
et 9,1 % - 2e jet,
soit au total 69,1 % de sucre de 1er et 2e jets.

Dans beaucoup de fabriques, on obtient seulement

46,5 % de 1er jet
et 18,1 % de 2e jet,
soit en tout 64,6 %.

Ces chiffres sembleraient prouver que de trop beaux rendements en second jet comme ceux qui viennent d'être cités ne sont pas en réalité très-avantageux pour le fabricant. Il ne retire que dans les sous-produits ce qu'il aurait pu gagner et au delà en 1er jet. Nous ne saurions donc en principe recommander les méthodes de fabrication qui donnent jusqu'à des sucres de 5e, 6e ou 7e jet. Pour tout fabricant qui travaille rationnellement, le but est de retirer de la masse cuite et comme 1er jet la totalité du sucre cristallisable. C'est dans cet ordre d'idées que doit se maintenir la fabrication, et tout au moins convient-il de ne pas aller au delà des produits de second jet.

Le sirop qui s'écoule des cristaux de second jet est généralement recuit encore une fois, et abandonné à une cristallisation lente à température élevée dans d'énormes réservoirs habituellement en maçonnerie. La durée de cette dernière cristallisation est au moins de six mois et se prolonge presque jusqu'au commencement de la campagne suivante. A ce moment, on reprend toute la masse et on la jette sur des filtres qui retiennent les cristaux et laissent égoutter le sirop qui prend alors le nom de mélasse. Les cristaux qu'on obtient ainsi sont, ou bien redissouts à nouveau et recuits, ou bien mélangés aux seconds produits avant que ceux-ci ne cristallisent. De la sorte on réduit le coût du travail, car souvent les frais du traitement à part des 3es produits ne sont pas compensés par le sucre qu'on obtient.

Il est facile maintenant d'évaluer le rendement total de 100 k^{os} de masse cuite. On obtient, pour 60 % de sucre de 1er jet, 40 k^{os} de sirop vert qui donne pour la seconde cristallisation 35^{k},2 de masse cristallisable. Sur cette quantité, on retire 26 % soit 9^{k},1 en sucre de second jet. Il reste donc 35^{k},2 — 9^{k},1 ou 26^{k},1 de sirop qui, réduit de 10 %, donne 23^{k},5 de masse cristallisable pour le 3^{e} produit. Cette dernière part fournit, à raison de 15 %, 3^{k},5 de sucre de 3^{e} jet; enfin, il reste 20^{k} de mélasse. On a donc par suite:

	20^{k}	de mélasse.
72,6 %	60^{k}	de sucre de 1er jet.
	9^{k},1	de sucre de 2^{e} jet.
	3^{k},5	de sucre de 3^{e} jet.
	Total 92^{k},6	
	Avec une perte de 7^{k},4	
	100.	

Les rendements successifs dépendent avant tout, comme nous l'avons dit, de la richesse initiale de la masse et on peut admettre comme chiffres moyens pour les différentes richesses les nombres suivants:

Teneur de la masse cuite en sucre sur 100 de matières solides.	Rendement		
	en 1er jet.	en 2e et 3e jets.	Total.
80 %	58,3	9,7	68
85 %	60,2	9,8	70
86 %	62,0	10,0	72
87 %	63,6	10,4	74
88 %	65,4	10,6	76
89 %	67,0	11,0	78
90 %	68,8	11,2	80

Chapitre IV.

Considérations sur les modes de chauffage, d'évaporation et de concentration.

Dans les divers chapitres qui précèdent, nous avons eu fréquemment à nous occuper de l'évaporation qui joue un grand rôle dans le système actuel de la fabrication du sucre; il peut donc être utile de réunir dans le présent chapitre quelques unes des données générales relatives tant à l'évaporation qu'à l'ébullition. La méthode la plus naturelle et la plus économique d'évaporer un liquide serait d'utiliser la chaleur du soleil en l'empruntant à l'air. On sait que, si un liquide est en contact avec de l'air en mouvement, les couches d'air voisines de la surface du liquide se saturent plus ou moins d'humidité suivant leur température et leur état hygrométrique et déterminent une évaporation d'eau plus ou moins considérable. Naturellement, l'évaporation est d'autant plus active pour un temps donné que l'air est plus sec, son renouvellement plus fréquent et la surface du liquide plus grande.

C'est en vertu de cette propriété que le vent exerce une action de dessiccation si forte, comme le démontrent au reste la

disparition rapide de l'humidité dans le sol et le séchage du linge. On peut imiter l'action naturelle du vent en mettant l'air en mouvement, soit à l'aide de ventilateurs, soit par tout autre système. Péclet admet qu'un homme peut imprimer en six heures une vitesse de 5 mètres à 70,000 mètres cubes d'air. Or, l'état hygrométrique de l'air étant très-variable suivant les saisons, on peut admettre avec Montgolfier qu'au printemps chaque mètre cube peut évaporer 3 grammes d'eau. On pourrait donc, simplement à l'aide de l'air, évaporer dans le cas précédent 70,000 × 0^{k},003 soit 210 k^{es} d'eau, et dans les pays où l'atmosphère est fortement chauffé par le soleil, on peut ainsi, simplement par un travail mécanique, produire l'évaporation de l'eau dans des conditions économiques.

Melsens a proposé d'appliquer cette évaporation par l'air pour la fabrication du sucre dans les colonies. Les jus, après avoir reçu une addition de bisulfite de chaux destiné à les préserver de l'altération, devaient rester exposés un temps suffisant en couches de faible épaisseur à l'action de l'air et du soleil des tropiques. Jusqu'à présent le succès ne parait pas avoir consacré cette méthode.

On obtiendrait un résultat analogue au point de vue de l'évaporation en faisant tomber lentement les liquides sur des fascines comme on le fait dans les salines. L'air se trouverait ainsi en contact avec le liquide sur la plus grande surface possible. Dans ce mode de travail, les frais d'évaporation se réduiraient à l'intérêt de l'installation et à la dépense nécessaire pour remonter les liquides. Malheureusement, la fabrication du sucre ne saurait faire aucun usage de ce procédé. Du reste, dans l'état actuel de cette industrie en Europe, comme l'évaporation se fait à l'aide de la vapeur de retour et pour ainsi dire sans dépenses spéciales, toutes les autres méthodes d'évaporation n'ont que de faibles chances de succès ou d'avenir.

Brame et Chevallier ont fait, mais sans résultat, des essais pour évaporer les jus à l'aide d'air préalablement échauffé. Bien que l'air en traversant le liquide se saturât rapidement de vapeur et bien que la durée de l'évaporation fût ainsi réduite,

les produits souffraient de leur contact multiple avec l'air. D'ailleurs, comme la dépense de combustible était tout aussi forte qu'avant, la méthode de Brame et Chevallier fut bientôt mise de côté.

Dans l'évaporation, soit à feu nu soit à la vapeur avec des chaudières ouvertes, la surface des liquides sucrés se trouve protégée par la couche des vapeurs produites contre l'action de l'air extérieur. Il en est *a fortiori* de même lorsque, et c'est le cas ordinaire, les chaudières sont fermées par un couvercle d'où part simplement un tuyau d'échappement.

Avant de terminer ce sujet, je dois faire remarquer que, pour élever de 1° la température d'un poids donné de dissolution de sucre, il faut moins de chaleur que pour échauffer de la même quantité le même poids d'eau; en d'autres termes, la chaleur spécifique des dissolutions sucrées est plus faible que celle de l'eau; elle n'est que de 0,5 celle de l'eau étant 1. Nous n'avons pas tenu compte de ce fait dans tous nos calculs précédents, car les jus ne sont pas des dissolutions de sucre pures, mais renferment en même temps plus ou moins de sels et, par suite, la chaleur spécifique des diverses dissolutions est très-variable. Cependant, c'est un fait bien connu que les jus cuisent, tantôt plus facilement, tantôt plus difficilement, avec la même surface de chauffe. Lors donc que, pour connaître la quantité totale de chaleur nécessaire pour un échauffement donné, on multiplie la chaleur spécifique du liquide par son poids et par la différence des températures, ce calcul ne peut avoir de valeur réelle que pour des dissolutions de sucre pures ou pour des jus de très-bonne qualité.

Nous donnerons toutefois une application de cette méthode au calcul de la quantité de chaleur nécessaire pour le travail des sirops.

De 50,000 k^os de betteraves, on retire à peu près

14,000 k^os de sirop

et à 11 % 5,500 k^os de masse cuite.

Il reste donc à évaporer 8,500 k^os d'eau

pendant la cuite, en dehors de la quantité de chaleur nécessaire pour porter le liquide à la température de l'ébullition. Or, si le jus arrive des réservoirs à la cuite avec une température de 57°, il doit être porté à la température de 110°. Si donc on admet que le sirop ait comme chaleur spécifique la moitié de celle de l'eau, il absorbera $\frac{110-57}{2} \times 8{,}500 =$ 225,250 calories. Il faudra donc dépenser en vapeur $\frac{225{,}250}{540}$ ou 417 k^{m}. Cet exemple suffisait pour faire comprendre comment, dans chaque cas, s'établit le calcul. Mais nous ferons usage des chiffres précédents pour calculer la surface de chauffe nécessaire avec l'appareil à cuire dans le vide.

Le travail de la cuite exige par jour, comme nous venons de le voir:

l'évaporation de	8,500 k^{m} d'eau
l'échauffement représente une dépense de vapeur de	417 - -
	8,917 k^{m} d'eau.

On a donc en tout à dépenser par jour 8917 k^{m} de vapeur et, comme chaque cuite dure environ 8 heures, qu'on en fait deux par jour, il faut compter une consommation de vapeur de $\frac{8{,}917}{16}$ ou 556 k^{m} par heure. Si l'on emploie de la vapeur à 3 atmosphères, la différence des températures est, pendant l'échauffement et comme moyenne, $135 - \frac{110+57}{2}$ ou 51°,5; pendant la période d'évaporation, elle est de 135 — 85 ou 50°. Pour cette différence de température, chaque mètre carré de surface de chauffe transmet par heure 56,000 calories, il évapore donc $\frac{56{,}000}{540}$ ou environ 100 k^{m} d'eau. Par suite il faudra, pour produire une évaporation de 556 k^{m}, 5^{mq},6 de surface de chauffe, chiffre qu'il convient dans la pratique d'augmenter et de porter à 6 ou 7^{mq}.

Péclet admet qu'un mètre carré de surface de chauffe condense par heure et par chaque degré de différence de température, dans les serpentins de 5 à 7 k^os de vapeur, dans les appareils à double fond de 1 à 3 k^os. Ces évaluations me paraissent beaucoup trop fortes pour la pratique de la fabrication du sucre. D'après mes expériences, 1 mètre carré de surface de chauffe donnerait par heure les résultats suivants:

	Nombre de calories transmises.	Quantité d'eau évaporée k^os	Températures des deux surfaces.	Différence des températures.	Quantité évaporée pour une différence de 1°.
A la défécation. Doubles fonds	42,500	54	$\frac{5+100}{2}/_{135}$	81°,5	0^k,8
Évaporation en chaudières ouvertes (serpentins, vapeur à 3 atmosphères)	68,750	105	$^{103}/_{135}$	32°	4^k
Évaporation dans le vide (vapeur de retour à 110°, serpentins à simple effet)	$^{100000}/_{125000}$	160	$^{70}/_{110}$	40°	5^k
Appareil à triple effet avec tuyaux verticaux	14,370	22	$^{110}/_{93}/_{87}/_{76}$	11°,5	2^k,4
Cuite dans le vide (serpentins)	$^{37500}/_{50000}$	65 à 75	$^{85}/_{135}$	50°	$\frac{1^k,6}{1^k,8}$

Schentz, dans son manuel, donne pour la transmission de la chaleur une table dont les chiffres paraissent également trop élevés pour nos applications.

Comme la température de la vapeur augmente avec sa pression, on peut en profiter pour accroitre la différence de température en vertu de laquelle se fait la transmission. Dans beaucoup de fabriques mal outillées, lorsque les appareils dont on dispose sont insuffisants pour évaporer la quantité d'eau voulue, on surmonte la difficulté en maintenant dans les générateurs une pression plus forte qui augmente notablement l'effet utile des appareils de chauffage. D'après Halle, chaque

atmosphère de pression en plus augmenterait de 2000 calories environ la quantité de chaleur transmise par heure et par mètre carré.

Aussi, a-t-on cherché dans les salines à comprimer de nouveau la vapeur déjà détendue et à la renvoyer ensuite dans d'autres appareils de chauffage. Pelletan voulait employer à cet effet de la vapeur à 5 ou 6 atmosphères.

Mais il me semble qu'on possède un moyen bien plus simple et très-efficace d'augmenter le pouvoir d'évaporation des appareils autrement que par un excès de pression. Il suffirait, comme nous l'avons déjà dit à un autre endroit, de surchauffer la vapeur. Cette surchauffe peut être donnée, soit avant que la vapeur agisse dans les machines motrices, soit, si on craint d'altérer les organes des machines, à leur sortie. La vapeur qui sort des générateurs a d'habitude, dans les fabriques de sucre, une température de 135 à 138°, celle qui sort des machines après utilisation est à 110°. D'autre part, les gaz du foyer des générateurs, au moment où ils arrivent à la cheminée, ont, dans les installations bien faites, une température moyenne de 250°, souvent même de 350°. On a donc à sa disposition une différence de température de 250 — 138 ou 110° environ avec la vapeur à haute pression, de 140° avec la vapeur détendue. Cette différence est parfaitement suffisante pour échauffer de 20 ou 25° la vapeur dont on fait usage. Si on établit dans le carneau des gaz plusieurs tubes à minces parois présentant le même section que les conduites de vapeur, et si on y fait circuler cette vapeur en lui offrant la plus grande surface possible de tuyaux, la surchauffe se fait très-vite et il suffit d'un vingtième ou d'un dixième de mètre carré par force de cheval. Or, cette faible élévation de 25° dans la température de la vapeur serait parfaitement suffisante pour le but que l'on cherche dans les fabriques de sucre. La vapeur détendue se réchaufferait en effet de 110 à 135°, c'est-à-dire qu'elle produirait dans les appareils d'évaporation le même effet que de la vapeur directe. Celle-ci, à son tour, si sa température était portée de 135 à 160°, produirait beau-

coup plus d'effet utile, et il suffirait de très-petits appareils d'évaporation pour un travail considérable. Cette surchauffe ne nécessiterait aucune dépense supplémentaire de combustible, et je ne m'explique pas qu'elle ne soit pas plus fréquemment employée.

Du reste, au lieu d'employer comme intermédiaire de la transmission de chaleur de la vapeur, on pourrait utiliser directement et sans frais cette chaleur, soit pour l'évaporation des jus, soit pour la concentration des eaux de dégraissage. Il suffirait d'installer, dans le carneau de fumée qui conduit à la cheminée les gaz de la combustion, une sorte de chaudière tnbulaire dans laquelle on ferait circuler les gaz chauds et qui servirait à évaporer les liquides dans le vide à la température de 82° environ.

Comme les gaz ont dans le foyer une température de 230° environ et qu'ils en perdent au plus 40, c'est-à-dire qu'ils arrivent à la cheminée avec une température de 190° parfaitement suffisante pour le but que l'on se propose, on voit qu'on pourrait disposer d'une différence de température de $\frac{230 + 190}{2} - 82$ ou 130° environ.

Toutefois, les surfaces de chauffe dans un dispositif de cette nature devraient être assez grandes, car, malgré la différence considérable des températures, on ne pourrait guère compter sur une évaporation de plus de $7^{k},500$ par heure et mètre carré. Ce faible résultat peut provenir de la pression très-faible du gaz (8^{mm} d'eau) au moment où il arrive à la cheminée. La compression de ces gaz, même sous une petite pression, permettrait de les mieux utiliser mais cette condition serait difficile à réaliser pratiquement.

Quoiqu'il en soit, avec un dispositif fondé sur ce principe, il serait possible de concentrer sans dépense nouvelle de combustible la totalité des eaux de dégraissage, tandis que dans les conditions actuelles et pour les usines bien montées, les vapeurs de retour ne suffisent pas pour cette évaporation. Il semblerait même qu'on pût ainsi se dispenser de faire agir la

vapeur par triple effet dans les appareils compliqués auxquels on a recours aujourd'hui et obtenir les mêmes résultats avec un outillage plus simple et moins couteux.

La question d'utilisation meilleure du combustible a d'ailleurs une importance considérable car, pour chaque kilogramme de houille, on perd, même dans les meilleures conditions, 4000 calories qui pourraient être encore utilisés.

Nous reproduisons ci-après une table des températures d'ébullition sous des pressions variables:

Degré de vide		Pression réelle dans l'appareil		Température des vapeurs.	
en centim. de mercure.	en pouces de mercure.	en centim. de mercure.	en pouces de mercure.	Degrés centigrades.	Degrés Réaumur.
27	10	49	18	88	70
32,4	12	43,6	16	85	68
38	14	38	14	82	66
43,6	16	32,4	12	78	62
49	18	27	10	74	59
54	20	22	8	69	55
59,4	22	16,6	6	63	50
64,8	24	11,2	4	55	44
70,4	26	5,5	2	43	34

Chapitre V.

Traitement des mélasses par l'osmose.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, les sirops ou mélasses qu'on obtient après avoir isolé, par voie de cristallisations successives, la plus forte proportion possible de sucre, retiennent encore, à côté de tous les sels et des matières organiques qui ont résisté au travail de la fabrication, une quantité importante de sucre, que la présence même des matières étrangères empêche de cristalliser. Pendant longtemps, ces mélasses n'ont pu être utilisées que pour la fabrication de l'alcool, mais dans ces dernières années, de nombreuses tentatives ont été

faites pour retirer, au moins en partie, le sucre cristallisable des mélasses. Parmi les procédés essayés, l'un des plus connus est l'épuration par l'osmose imaginée par M. Dubrunfaut.

Fig. 167.

L'appareil qu'on emploie dans ce procédé, et qui a reçu le nom d'Osmogène, est représenté dans les figures 167 et 168 et disposé ainsi qu'il suit:

Fig. 168.

A A sont des cadres d'une épaisseur de 15 millimètres, en bois bien sec et de bonne qualité de hêtre ou de chêne, au nombre de 50; chacun de ces cadres est désigné dans les figures ci-contre par son numéro d'ordre. *B B'*, plaques en fonte, garnies de planches de chêne de 45 millimètres d'épaisseur, et servant de pièces de tête pour fermer l'appareil. A l'aide des boulons à écrou *C*, on serre les uns contre les autres les cadres *A*, après avoir interposé entre eux, de deux en deux, une feuille de parchemin. Des garnitures en caoutchouc assurent d'ailleurs l'étanchéité de ces joints.

Tous les cadres sont percés, tant à la partie supérieure qu'à la partie inférieure, de deux séries de trous qui traversent le bois et forment quatre canaux, savoir: deux pour l'arrivée et la sortie de la mélasse (*D* et *E*), deux pour la circulation de l'eau. Ces canaux sont en communication avec les tuyaux *R* et *M*, *T* et *N*. De ces conduits principaux partent d'autres canaux plus petits, doublés en cuivre, *H H*, qui aboutissent dans l'intérieur des espaces ou chambres formés par les cadres. Deux des conduits, un en haut et un en bas, communiquent avec chacun des intervalles pairs, les deux autres avec les intervalles impairs. Pour assurer l'étanchéité des joints, on emploie, comme nous l'avons dit, des bandes de caoutchouc. Ces bandes, de 7 centimètres de large et de 1^{mm} ou $1^{mm}\,1/2$ d'épaisseur, sont maintenues sur chacun des cadres et sur la face intérieure de la pièce de tête par de petites pointes à tête plate de 10 à 12 millimètres de longueur. Ce caoutchouc doit être bien vulcanisé pour résister à la température élevée des liquides et ne pas coller au parchemin lorsque l'on desserre les cadres. Les joints et les assemblages sur chaque cadre et sur la plaque de tête sont soigneusement mastiqués au minimum. Dans l'intérieur même des cadres sont rapportées des traverses en bois qu'on n'a pas représentées sur les dessins pour éviter une complication inutile des figures. Ces traverses sont percées alternativement à droite et à gauche, de façon à forcer les liquides à circuler en zig-zag. Elles servent d'ailleurs à

soutenir le parchemin. Dans le même but, on tend de distance en distance des fils verticaux assujettis dans les parois des cadres.

L, robinet de 25 millimètres munis d'un index mobile sur un arc divisé *C*. Ce tuyau déverse dans l'entonnoir *M* la mélasse à épurer qui passe ensuite dans le canal principal *D*.

N, vase d'épreuve communiquant avec le canal *E* par le tuyau *e* et contenant un aréomètre qui indique le degré de la mélasse dépouillée de sels à la sortie. *O*, tuyau pour chasser l'air des espaces occupés par la mélasse.

Q, robinet avec index et cadran *C* pour l'arrivée de l'eau de *b'* dans le canal *F* à laide de l'entonnoir *R* muni d'un grillage.

S, tuyau pour l'expulsion de l'air des espaces occupés par l'eau.

T, vase d'épreuve pour observer la densité de l'eau qui sort de l'appareil chargée de sels.

U, robinet pour vider les compartiments remplis d'eau; *P*, robinet analogue pour les chambres à mélasse.

V V', rigoles en tôle pour l'écoulement des liquides sortant de l'appareil.

X X, madriers sur lesquels, après avoir démonté au joint *d* le tuyau *M D*, on renverse l'appareil en le faisant tourner autour des axes *Y Y'*. Ce mouvement, qui rend les cadres horizontaux, a pour but de rendre plus facile le changement des feuilles de parchemin.

Z Z', pièces de bois qui supportent l'appareil en service.

Pour monter l'osmogène, on vérifie d'abord que les feuilles de parchemin ne présentent ni trous, ni parties faibles, en les regardant au jour. Les feuilles reconnues bonnes sont trempées dans l'eau pendant un quart-d'heure, et l'une d'elles placée immédiatement, aussi bien tendue que possible, sur le premier cadre inférieur. Ensuite on place dessus le second cadre qu'on recouvre d'une seconde feuille de papier, et ainsi de suite jusqu'au dernier. On rapporte alors la plaque de tête, on

serre l'appareil, on le redresse et on procède à l'introduction des liquides.

Pour cela, il est bon de porter l'eau d'abord à l'ébullition; on prépare la mélasse comme nous le décrirons ci-après, et on ouvre les deux robinets *b* et *b'* aussi uniformément que possible, pour que les deux liquides (eau et mélasse) se maintiennent toujours au même niveau. Sans cette précaution, on serait exposé, par suite de l'inégalité de pression sur les deux faces, à déchirer la feuille de parchemin. Aussitôt que le liquide sort par l'un des vases d'épreuve *N* ou *T*, on doit fermer le robinet d'arrivée correspondant *L* ou *Q*, jusqu'à ce que le second vase d'épreuve soit également plein de liquide. A partir de ce moment, on règle la marche de l'appareil de façon à ce que le liquide mette un certain temps déterminé, (4 ou 6 heures par exemple), pour avoir touché toutes les surfaces de l'appareil, avoir parcouru tous les cadres. On contrôle la marche du travail par la densité des liquides qui s'écoulent et, comme les densités sont accusées par les aréomètres des éprouvettes *T* et *N*, il est facile de régler les diverses conditions de l'opération en augmentant ou diminuant l'arrivée d'eau, le temps de l'osmose, etc., de façon à obtenir un résultat voulu.

Plus l'opération dure de temps et plus la mélasse sort diluée. Or, la mélasse est d'autant mieux épurée qu'elle sort de l'appareil avec une densité plus faible. Le travail dans ce cas est plus complet, le quotient de pureté de la dissolution s'élève, en d'autres termes le rapport du sucre aux matières étrangères est plus favorable. Mais, en même temps, la proportion du sucre qui passe dans l'eau et qui, par suite, se trouve perdue augmente elle-même; enfin, le rendement des appareils est naturellement beaucoup moindre que si on laisse couler les liquides moins dilués.

L'eau qui sort, l'eau d'exosmose, peut couler plus ou moins chargée de sels suivant qu'on se propose de la reconcentrer ou qu'on la laisse perdre, et on doit régler en conséquence les conditions du travail.

Veut-on, par exemple, faire sortir la mélasse à 15° Baumé, l'eau saline à 8°, il suffit de régler l'arrivée des deux liquides à l'aide des robinets *b* et *b'*, jusqu'à ce que l'on arrive à ces densités, ce qui a lieu au bout de quelques heures. L'eau qui sort est beaucoup moins colorée [1] que la mélasse osmosée et possède un goût franchement salin, pendant que la mélasse diluée est devenue plus douce et plus sucrée qu'avant. — La coloration et la saveur de l'eau permettent donc de reconnaître quand une des feuilles de parchemin s'est déchirée, ce qui du reste arrive très-rarement.

Lorsque ce cas se présente, une partie des mélasses sort par l'éprouvette *T* et l'ouvrier est averti par l'aspect et le goût du liquide qui coule par cet orifice, ou bien le mélange sort uniquement par le tuyau des mélasses qui, par suite de la différence des densités, débouche 6 centimètres au-dessous du niveau de l'autre. Ce dernier accident exige un arrêt encore plus immédiat du travail et la réparation complète de l'appareil.

Du reste, au bout d'un certain temps, et même quand les feuilles de parchemin ont toutes résisté, il faut démonter l'appareil, desserrer les cadres et procéder au nettoyage. A cet effet, on laisse couler les liquides aussi uniformément que possible par les robinets *P* et *U*; on fait tourner le tout autour des axes *Y Y'* de manière à rendre les cadres horizontaux; on enlève ces cadres un à un et on les remet en place après les avoir soigneusement lavés. L'appareil peut alors être remonté et le travail des mélasses repris.

Après ces détails de construction de l'appareil, il nous reste à examiner le procédé en lui-même. A cet effet, nous reproduirons d'abord les observations que nous avons faites en visitant la fabrique de M. Tilloy à Courrières, où ont été installés les premiers osmogènes.

Pour travailler la mélasse, on commence par la faire bouillir en ajoutant (probablement en vue de précipiter la chaux) 10 kilo-

1) Ce fait prouve que les matières colorantes, et peut-être aussi les autres principes organiques, se dyalisent moins facilement que les matières minérales.

grammes de carbonate de soude et un peu de sang dans chaque chaudière. On fait écumer et on laisse le dépôt se former pour n'introduire dans le dyaliseur qu'un liquide parfaitement clair. Sans cette précaution, les petits canaux *X* s'obstruent facilement et la partie correspondante de l'appareil ne produit plus d'effet utile. — Pour un travail de 6 à 7000 kilogrammes de mélasse par jour, on employait 2 chaudières et 10 osmogènes à 50 cadres.

Au-dessus des tuyaux d'amenée de l'eau et de la mélasse étaient disposés des grillages à mailles très-serrées, destinés à retenir toutes les matières solides entrainées mécaniquement. L'eau, à la température de 40°, et la mélasse arrivaient en filet très-mince dans l'appareil. Du reste, l'écoulement de la mélasse et de l'eau saline à la sortie ne se faisait pas d'une manière continue. Les deux liquides, à un moment donné, cessaient de couler sans cause apparente, puis l'écoulement reprenait ensuite.

Les aréomètres plongés dans les liquides à la sortie accusaient 12° Baumé pour la mélasse encore chaude, pendant que l'eau salée marquait 6° Baumé. On dépensait 26 hectolitres d'eau par jour et par appareil.

En tout cas, on peut admettre, comme minimum et en chiffres ronds, 1000 kilogrammes d'eau, et il importerait dès-lors de n'employer que de l'eau très-pure et privée de sels, ce qui assurerait une épuration plus complète et plus rapide. On recommande dans le même but de faire bouillir l'eau avant l'emploi et de la laisser déposer. Nous serions même porté à conseiller une filtration de cette eau sur du charbon de bois, car les matières organiques imprègnent plus ou moins vite les parois du parchemin et annulent en partie leurs effets de dyalise. C'est du reste ce que confirme l'expérience, car, au bout de 14 jours de marche, un appareil ne produit plus aucun effet. L'expérience a également prouvé, dans le même ordre d'idées, que, pour obtenir un travail satisfaisant, il était indispensable de laver fréquemment l'intérieur de l'osmogène à l'acide chlorhydrique et de le nettoyer complètement.

L'eau chargée de sels qui sort de l'osmogène a enlevé en même temps un peu de sucre. A Courrières, ces eaux accusaient au polarimètre 12°; elles contenaient donc $\frac{12}{6}$ ou 2 % de sucre. Dans des essais en petit effectués à la fabrique de M. Freise, à Neustadt près de Magdebourg, cette eau d'exosmose renfermait 2,17 % de sucre. On peut donc sans exagération admettre comme un minimum le chiffre de 2 % pour la proportion de sucre, d'autant mieux que cette perte augmente rapidement si l'opération est menée d'une façon plus lente, ou dans diverses autres circonstances. — Or, si 100 k^{mes} d'eau enlèvent 2 k^{es} de sucre, pour chaque appareil la perte sera de 20 k^{es} par jour. Comme chaque appareil travaille en 24 heures 600 k^{es} de mélasse, laquelle contient (à 50 %) 300 k^{es} de sucre, on voit que la perte par les eaux d'exosmose s'élève à 7 k^{es} par 100 k^{es} de sucre, ou environ 4 k^{es} de sucre par 100 k^{es} de mélasse.

D'autre part, la dissolution saline avait à la sortie, comme nous l'avons déjà indiqué, une densité de 6° Baumé, soit 10,8 % Balling. Si on en défalque 2 % de sucre, il reste pour la teneur réelle en sels 8,8 %. Admettons que 1°,6 Balling représente une partie en poids de sels; le poids des sels passés dans l'eau sera 5,5 % ou, en chiffres ronds, 5 %. Les 1000 k^{es} d'eau éliminaient donc, sur 600 k^{es} de mélasse, 50 k^{es} de sels, soit environ 8,3 %. La mélasse ordinaire renfermant 10 à 12 % de sels, on voit que l'appareil de M. Dubrunfaut lui enlèverait la majeure partie de ces sels. Effectivement, à Courrières, le sucre obtenu par ce traitement n'avait, malgré sa nuance très-prononcée, aucun goût salin, circonstance importante, puisqu'elle permet d'obtenir ainsi un produit directement utilisable pour la consommation.

Sur les 600 k^{es} de mélasse, l'eau n'enlevait que 20 k^{es} de sucre, soit deux fois et demie moins que des sels, et la liqueur ainsi purifiée pouvait dès-lors laisser cristalliser la quantité de sucre correspondant aux sels enlevés. Cette quantité de sucre est d'ailleurs très-variable suivant la nature même des sels.

Les données qui précèdent, bien qu'elles ne soient qu'approchées et qu'elles ne dérivent pas d'analyses directes, doivent cependant être assez exactes, car elles découlent des faits d'observation.

Le Dr. Weiler de Prague a fait, sur notre demande, les analyses suivantes de mélasses avant et après dyalise, et des dissolutions salines correspondantes.

	Mélasse brute marquant 77,5 % Balling Taux %.	Mélasse osmosée marquant 43,2 % Balling Taux %.
Sucre	43,500	25,250
Sels de potasse et de soude	9,611	4,720
Sels de chaux	0,811	0,480
Substances organiques . .	18,941	10,646
Eau	27,137	58,904
	100,000	100,000
Résidu de dessiccation . .	72,863	41,096

Résultats rapportés à 100 de sucre:

Sels de potasse et de soude	22,094	18,693
Sels de chaux	1,864	1,905
Substances organiques . .	43,726	42,163
	67,684	62,761

Pour 100 parties de sucre dans la mélasse, la dyalise a donc enlevé 22,094 — 18,693 ou 3,401 parties de sels; sur 100 parties de sels il en été éliminé 15,393
sur 100 parties de matières organiques . . . . . 3,575.

La solution saline obtenue dans ce traitement marquait 10 % Balling, (densité 1,0409), et elle avait la composition suivante:

Sucre	2,083 %
Sels de potasse et de soude . .	2,663 %
Sels de chaux	0,081 %
Matières organiques	3,720 %
Eau	91,453 %
	100,000 %
Résidu de dessiccation	8,547 %.

Quand nous étions à Courrières, la mélasse entrait dans l'osmogène à 40° Baumé; elle en sortant à 12° Baumé. Elle se trouvait donc très-diluée, et cette circonstance entrainait une dépense notable de combustible pour l'évaporation.

Le degré d'épuration qu'elle éprouvait dans ce travail correspondait à une augmentation de 3° dans son pouvoir de déviation au polarimètre, ce qui, en admettant 50 de sucre dans 100 de mélasse, correspondait à 6° pour 100 de sucre.

Dans l'essai en petit fait à Neustadt et dont il a déjà été question, la mélasse accusait:

	A l'entrée dans l'osmogène.	A la sortie de l'osmogène après 4 heures.
Densité (degrés Balling)	85,29	41,50
Teneur en sucre	52,73	27,13
Matières étrangères	32,56	14,37
Quotient de pureté	61,80	65,30
Proportion de sels pour 100 de sucre .	61,56	52,58

En admettant que, dans la mélasse sur laquelle on opérait, les 61,56 parties de sels étrangers empêchaient la cristallisation des 100 p. de sucre, dans la mélasse épurée, les 52,58 parties de sels ne devaient empêcher la cristallisation que de 85 p. de sucre (d'après la proportion $\frac{61,56}{100} = \frac{52,88}{x}$). En d'autres termes, le traitement aurait fait gagner 15 % de sucre. On peut admettre ce chiffre comme exact en moyenne,

bien qu'à Courrières on indiquât comme gain d'une première épuration osmotique de 16 à 18 %.

La mélasse sortant de l'appareil et dépouillée de ses sels était légèrement filtrée, puis concentrée, et on l'abandonnait à elle-même dans de grands bacs où s'opérait une cristallisation lente, durant de 20 à 28 jours pour les rendements ci-dessus. Au moment où nous visitions Courrières, les turbines à sucre ne marchaient pas, d'où l'on pourrait conclure que le rendement en sucre était assez faible.

On indique, il est vrai, qu'après cette première opération et après séparation du sucre, le reste de la mélasse peut être osmosé une seconde fois et qu'on peut ainsi retirer, par une seconde épuration, une nouvelle proportion de sucre. Calculons donc ce qui resterait encore de mélasse après ce travail.

D'après ce qui précède, sur 100 kilogrammes de mélasse, on perd, dans le premier travail d'osmose:

Sucre en dissolution dans l'eau	4 %
Sels en dissolution dans l'eau	8,3 %
On recueille comme nous l'avons vu 15 % de sucre rapporté à 100 de mélasse, soit, en forçant de 20 %	18 %
Le travail de la clarification et de la cuite donne comme déchet moyen	8 %
Total de la perte . . .	38,3 %
Il reste, comme mélasse de second jet	61,7 %

Admettons que cette seconde mélasse donne encore 15 % de son poids, soit 61,7 × 15 ou 9 % de sucre pour 100 k^{es} de mélasse initiale. Le rendement total de 100 k^{es} de mélasse marchande sera donc 15 + 9 ou 24 %, c'est-à-dire aussi élevé que le rendement total annoncé à Courrières.

Mais il me semble douteux qu'on puisse, dans tous les cas, retirer des produits cristallisables du second traitement de la mélasse. La dyalise, dans la première opération, a en effet enlevé la plus grande partie des sels, et permis d'isoler une

proportion de sucre correspondante. Le résidu semblerait donc ne plus devoir contenir un excès de sels suffisant pour que l'épuration fût encore fructueuse. Selon toute probabilité, la mélasse déjà dyalisée ne renferme plus que les sels moins sensibles à l'osmose. La seconde opération serait donc plus couteuse et plus incertaine dans ses résultats.

Peut-être toutefois, pourrait-on combattre cette difficulté par une méthode qui pourrait également, appliquée à la première osmose, conduire à des résultats avantageux. Il suffirait, ce me semble, de modifier la nature des sels de la mélasse. Si, par exemple, on transformait ces sels en chlorures, il parait vraisemblable que ces dernières matières traverseraient les membranes de l'osmogène plus facilement que les sels primitifs. Toutefois, il faudrait, pour vérifier l'exactitude de cette hypothèse, des expériences que je n'ai point eu jusqu'ici le loisir d'entreprendre.

Les seules recherches expérimentales que j'aie faites ont porté sur l'influence de la température, de la durée de l'osmose et des diverses variétés de parchemin, sur le travail.

Pour une même durée de l'essai (4 heures), on retrouva dans la mélasse osmosée, et non éliminées par la dyalise, les proportions suivantes des divers principes, en représentant par 100 leur proportion dans la mélasse primitive:

Température.	Sucre.	Matières organiques autres que le sucre.	Sels.
16 à 10° C.	92 %	87,5 %	82,3 %
38 à 40° C.	79,3 %	72,7 %	66,1 %
44 à 46° C.	76,2 %	71,6 %	61,8 %
60 à 62° C.	70,3 %	48,7 %	53,6 %

Il avait donc disparu dans les eaux d'exosmose:

16 à 18° C.	8 %	12,2 %	17,7 %
38 à 40° C.	20,7 %	27,3 %	33,9 %
44 à 46° C.	23,8 %	28,4 %	38,2 %
60 à 62° C.	29,7 %	51,3 %	46,4 %

La composition de la mélasse primitive était:

Eau	180,0
Sucre	545,0
Matières étrangères organiques . .	163,4
Sels	111,6
Total . .	1000,0

Ces expériences prouvent: 1° que l'action d'osmose est plus énergique quand la température augmente; 2° que la dyalise agit surtout pour éliminer les sels. En effet, tandis que dans la mélasse primitive, on trouvait pour 1 partie de sels 4,87 de sucre, le rapport n'est plus dans la mélasse osmosée que de

5,6	à	la	température	de 16 — 18°
5,8	-	-	-	- 38 — 40°
6,0	-	-	-	- 44 — 46°
6,4	-	-	-	- 60 — 62°

Au point de vue de l'influence de la durée du travail à température constante (44 — 46°), j'obtins les résultats suivants: Dans 100 parties de mélasse osmosée, il restait:

	Au bout de	
	4 heures.	8 heures.
Sucre	76,1 %	55,9 %
Mat. étrang. organ. . .	71,6 %	57,2 %
Sels	61,8 %	39,4 %

L'eau d'exosmose avait donc enlevé:

Sucre	23,9 %	44,1 %
Mat. étrang. organ. . .	28,4 %	42,8 %
Sels	38,2 %	60,6 %

Enfin, pour une même durée de travail (4 heures), et pour une température constante (44 — 46°), avec différents échantillons de parchemin, la mélasse retint:

Parchemin essayé.	Sels.	Matières étrangères organiques.
1	14,4	26,1
2	14,2	25,2
3	14,1	26,0
4	14,4	26,0
5	14,4	26,8
6	14,9	27,3
7	15,8	25,0
8	15,5	27,1
9	16,5	28,3

On voit que les divers parchemins donnent pour l'osmose des résultats assez différents pour qu'on ait intérêt à choisir avec quelque soin les échantillons que l'on emploie.

Pour compléter les données relatives à l'osmose, nous ajouterons le détail des dépenses telles qu'on les évaluait à Courrières pour le travail de 1000 k^mes de mélasse:

Combustible	12f,60
Parchemin	2f,04
Noir	4f,80
Défécation et clarification . .	10f,80
Main-d'œuvre	2f,40
Turbinage du sucre	2f,04
Total . . .	34f,68

Dans ces conditions, on retirait, pour 1000 k^mes de mélasse à la densité initiale et au rendement de 15%, 150 k^es de sucre d'une nuance assez foncée.

Si l'on tient compte de la valeur des mélasses, le bénéfice résultant de l'osmose est généralement assez faible et ne représente guères que les droits de brevet, si l'on n'utilise pas les eaux d'exosmose. Nous ajouterons d'ailleurs, en ce qui concerne la question spéciale du brevet, que l'action de l'osmose sur la mélasse était déjà connue; elle avait été étudiée et mise en pratique à la distillerie de Halle chez M. Hauy, qui

obtenait ainsi 15 % de sucre. On connaissait également l'emploi du parchemin tendu sur des cadres pour remplacer les membranes animales. Il ne resterait donc de réellement nouveau que la disposition, d'ailleurs très-ingénieuse, de l'appareil.

[Depuis l'époque à laquelle les pages qui précèdent ont été écrites, le procédé de l'osmose s'est généralisé et est entré dans la pratique d'un grand nombre de sucreries ou de raffineries, notamment en France, en Belgique et en Hollande. Ce résultat est dû en partie aux conditions commerciales adoptées pour la vente des sucres bruts dans ces différents pays et au mode d'assiette de l'impôt.

On sait en effet que, depuis plusieurs années, les sucres bruts se vendent à l'analyse, d'après le degré saccharimétrique, et que chaque centième de cendres trouvé à l'analyse réduit la valeur marchande du sucre de 7,50. L'osmose en réduisant la teneur en sels, même au prix d'une perte sensible en sucre, peut donc donner aux sucres une plus value importante. — D'autre part, les raffineries acquittant l'impôt sur le sucre brut à l'entrée à l'usine, ont un intérêt considérable à extraire le maximum de sucre cristallisable, puisque tout l'excédant de rendement, au-dessus du taux légal échappe à l'impôt.

Enfin dans les premières applications de l'osmose, on travaillait par osmose faible, c'est-à-dire par une épuration restreinte et on perdait les eaux salines d'exosmose. Depuis, on est parvenu soit à utiliser ces eaux pour la distillation, soit à les concentrer pour les vendre comme salins, ce qui a permis de réduire au minimum la dépense et les pertes, tout en pratiquant une osmose profonde.]

Chapitre VIII.

Distillation des mélasses.

Dans les conditions actuelles de la fabrication, et en dehors du travail par l'osmose encore peu répandu, la séparation du

sucre des derniers sirops est, ou impossible, ou trop coûteuse, et lorsque ces sirops ne contiennent plus que 40 % de sucre, on les livre au commerce sous le nom de mélasses, et on les utilise principalement pour la fabrication de l'alcool.

Pour ce travail, il est indispensable de connaître la teneur en sucre des mélasses. Les essais au polarimètre sont souvent trop lents ou trop difficiles pour les praticiens. D'ailleurs, on n'a pas besoin, dans ce cas particulier, d'une exactitude absolue; ce que l'on se propose, c'est de connaître le plus vite et le plus simplement possible le rendement pratique et réel que fournira la matière brute mise en œuvre.

Le procédé le plus simple pour le distillateur est de déterminer la teneur en sucre par la même méthode que celle du travail en grand de la distillerie, c'est-à-dire par la fermentation. Les résultats obtenus ainsi sont assurés et permettent de calculer à l'avance le rendement industriel.

On note à cet effet la densité de la mélasse à essayer; on l'étend d'eau jusqu'à ce qu'elle marque 18 à 20 % à l'aréomètre centésimal de Balling, et on la laisse fermenter à 25°, dans un local chaud, en présence d'un excès de bonne levure. Une fois la fermentation achevée, on prend de nouveau la densité à l'aréomètre.

Supposons que l'aréomètre Balling ait accusé avant fermentation . . . . . 18 %
après fermentation . . . . . 4 %
Il aura disparu en apparence . . . . . 14 %

Nous disons "en apparence", attendu que l'alcool produit par la fermentation étant moins dense que l'eau il en résulte une erreur dans l'indication de l'aréomètre centésimal. La différence entre les données de l'appareil avant et après fermentation porte par suite le nom d'atténuation apparente. Si on la multiplie par 0,89, on obtient la quantité de sucre qui existait dans la mélasse et que la fermentation a détruite. Dans l'exemple précédent, l'atténuation apparente était de 14 %. En multipliant par 0,89 on trouve que la mélasse diluée renfermait 12,46 % de sucre.

Mais on peut déterminer avec plus d'exactitude encore cette proportion de sucre en chauffant la liqueur fermentée de façon à chasser tout l'alcool. On ramène au poids avant ébullition en ajoutant de l'eau pure, et on prend alors seulement le degré à l'aréomètre. De cette façon, on fait disparaître l'erreur due à la présence de l'alcool, et on obtient l'atténuation vraie. Ainsi l'aréomètre ayant donné, avant fermentation . . . . . 18 %
et ensuite, dans la liqueur portée à l'ébullition . . . 5,5 %
la différence . . . . . 12,5 %
représente le sucre réellement détruit par la fermentation. Dans le cas actuel, on voit que ce taux ne diffère que très-peu de celui qu'on avait obtenu avec l'atténuation apparente.

Si, dans la liqueur d'essai, tout le sucre susceptible de fermenter s'est transformé en alcool et en acide carbonique, et si on multiplie le taux de sucre trouvé, 12,5 %, par le rapport du poids total de mélasse diluée au poids de la mélasse primitive essayée, on obtient le poids réel de sucre que renfermaient 100 k^es^ de cette mélasse. Dans le cas actuel, on trouve 48^k^,5.

Pour n'avoir pas à calculer chaque fois les proportions d'eau et de mélasse entrant dans la dissolution essayée, on peut se borner à étendre la mélasse jusqu'à ce qu'elle marque 10 % à l'aréomètre et, une fois le taux % de sucre de la liqueur déterminé, multiplier ce chiffre par le dixième du degré aréométrique initial noté au préalable. Ainsi, si la mélasse accuse une atténuation réelle de 11 à 4 %, il en résulte que la dissolution au degré 10 renfermait 7 % de sucre capable de fermenter; si donc la mélasse essayée avait par exemple une concentration de 75 % Balling, on en conclut que cette mélasse à 75 % renfermait 7,5 fois plus de sucre que la dilution au degré 10, soit 7,5 × 7 ou 52,5 de sucre sur 100 de mélasse.

Ce procédé peut servir en outre à rendre le calcul des essais plus facile, car il est toujours indispensable de connaître la densité de la melasse pour calculer le poids de cette matière qu'on doit soumettre à la fermentation dans des cuves de contenance donnée.

Supposons par exemple qu'on cherche dans quel rapport il faut étendre d'eau une mélasse à 75 % Balling (40° Baumé), pour obtenir une dissolution à 18 ou 20 % Balling. On a dans ce cas la proportion $\frac{18}{100} = \frac{75}{x}$ d'où $x = 416^{k},66$, on aura donc $416^{k},66$ de dissolution à 18 %, ce qui exige l'addition de $316^{k},66$ d'eau aux 100 k^{os} de mélasse marchande.

Le tableau suivant donne immédiatement le volume à ménager dans les cuves pour 100 k^{os}, de mélasses de diverses densités:

100 k^{mos} de mélasse à	Donnent pour le mélange un poids de	Exigent un volume de
75 % Balling (40° Baumé)	$416^{k},6$ à 18 % Balling	$387^{lit.},8$
73 % - (39° -)	$405^{k},5$ -	$377^{lit.},6$
71 % - (38° -)	$394^{k},8$ -	$367^{lit.},54$
69 % - (37° -)	$383^{k},8$ -	$357^{lit.},2$
67 % - (36° -)	$372^{k},2$ -	$346^{lit.},4$
75 % - (40° -)	375^{k} à 20 % Balling	$346^{lit.},2$
73 % - (39° -)	365^{k} -	$338^{lit.},0$
71 % - (38° -)	355^{k} -	$328^{lit.},7$
69 % - (37° -)	345^{k} -	$319^{lit.},4$
67 % - (36° -)	335^{k} -	$310^{lit.},2$

Inversement, ce tableau permet de calculer combien il faut employer d'hectolitres de mélasse d'un degré aréométrique connu, pour avoir dans la cuve un certain volume de mélange à la densité de 18 ou 20 % Balling. Il suffit de diviser le volume de la cuve par le volume occupé par le mélange d'eau et d'un hectolitre de mélasse.

Toutefois, il est essentiel de ne pas oublier dans ces calculs qu'il doit rester dans les cuves un espace libre de 10% environ de leur volume pour les mousses de la fermentation ou le chapeau.

Le sucre est la matière première de la production de l'alcool. Il se transforme d'abord en sucre de raisin; puis se dédouble, dans l'acte de la fermentation, en 51 parties en poids d'alcool et 49 d'acide carbonique. Toutefois, dans la pratique,

on n'arrive pas exactement à ce rendement théorique; on ne fait qu'en approcher, attendu que, dans le travail de la fermentation, il se produit une petite quantité de diverses autres combinaisons. Quant à obtenir un rendement supérieur aux chiffres théoriques cités plus haut, c'est un problême simplement impossible. Lorsqu'on met en avant cet avantage pour préconiser certains procédés, on jette de la poudre aux yeux des gens crédules, et on n'y arrive qu'en employant des matières premières de qualité supérieure ou des doses plus fortes que celles sur lesquelles on établit les calculs.

Ainsi, je connais par exemple une distillerie où l'on ne voulait employer, pour une cuve de 42 hectolitres, que 750 à 900 kilogrammes de mélasse marquant 68 à 72 % à l'aréomètre de Balling, de façon à obtenir une dissolution marquant en moyenne 19 %. On prétendait, en travaillant avec de la levûre de bière, obtenir plus d'alcool qu'en employant de bonne levûre artificielle, et cependant, comme on le sait, ce dernier ferment est composé de malt et de grain, c'est-à-dire précisément de matières qui, par elles-mêmes, fournissent déjà de l'alcool. Quand le rendement en alcool augmentait, on en attribuait le mérite à cette substitution de la levûre de bière à la levûre artificielle. En réalité, l'amélioration provenait tout simplement de ce que l'on employait des mélasses plus riches et contenant jusqu'à 60 % de sucre. Dans ces conditions, le rendement en alcool par hectolitre de mélasse devait naturellement paraître très-élevé et les bénéfices apparents très-beaux, puisque la mélasse était prise dans la fabrique de sucre annexée à la distillerie, et qu'on ne la portait comme valeur que pour de la mélasse à 40 % de richesse saccharine, sans tenir compte et de sa richesse réelle plus forte de moitié et de sa valeur utile triple de celle que l'on supposait. Par contre, les comptes de la fabrique de sucre présentaient une perte équivalente, et le propriétaire ne tarda pas à s'en apercevoir.

Pour estimer la teneur en sucre des mélasses par la fermentation, on étend donc la mélasse, comme nous l'avons vu, jusqu'à 18 ou 20 % Balling; on y ajoute un excès de bonne levûre,

on agite le tout, et on laisse fermenter dans un local chaud. Une fois la fermentation achevée, si l'aréomètre ne marque plus que 4%, l'atténuation apparente est de 18—4 ou 14%. Si on multiplie ces 14% par le facteur alcoolique correspondant, on obtient le taux % en poids d'alcool absolu contenu dans la liqueur fermentée.

Les facteurs alcooliques varient avec la concentration de la liqueur soumise à la fermentation. Toutefois, pour les mélasses, Balling recommande de prendre toujours le même facteur alcoolique 0,45. Ce coëfficient suffit parfaitement pour la pratique, d'autant plus que les mélasses sont presque toujours ramenées au même taux de concentration, 18%.

Dans l'exemple que nous avons choisi, le mélange fermenté contiendrait 14 × 0,45 soit 6,3% d'alcool absolu, résultat qu'il est facile de contrôler par le vaporimètre de Geissler. Les 4% qui restent sont des matières étrangères, principalement des sels. Au point de vue de la production de l'alcool, on n'a pas à s'en préoccuper, mais, dans la suite du travail, on retire ces matières salines par l'évaporation des vinasses.

La proportion d'alcool une fois connue, on remonte sans difficulté à la proportion de sucre détruite réellement par la fermentation. Ainsi, dans le cas actuel, 51 k^{m} d'alcool correspondant à 100 k^{m} de sucre, les 6^{k},3 constatés doivent provenir de 12^{k},4 de sucre de raisin ou de 11^{k},7 de sucre cristallisable.

D'autre part, si 100 parties de la dissolution à 18% contiennent 12^{p},4 de sucre,[1] on peut en conclure la proportion de sucre que renfermaient 100 k^{m} de mélasse au degré aréométrique de 71% par exemple. Nous avons vu en effet que 100 k^{m} de mélasse à 71% donnaient 394^{k},8 de dissolution à 18%; la mélasse primitive contenait donc par 100 k^{m} 12,4 × 3,948 de sucre ou 48,9%.

Cet exemple suffit pour faire comprendre la marche du calcul. Ce procédé de détermination est d'ailleurs très-simple,

---

1) Pour plus de simplicité notre calcul a été basé exclusivement sur le sucre de raisin, une partie du sucre se trouvant déjà sous cette forme dans la mélasse.

et concorde parfaitement avec les résultats du travail en grand, si la fermentation s'est bien développée dans la liqueur d'essai.

Maintenant, si 100 k^es^ de mélasse contiennent 48^k^,9 de sucre, on pourra en retirer par une bonne fermentation la moitié, ou plus exactement 48 %, et le rendement possible en alcool sera 48,9 × 0,48 ou 22,67 d'alcool. En rapportant au volume et prenant pour densité de l'alcool 0,79, ce chiffre correspond à 24,68 : 0,79 ou 28^lit.^,6 d'alcool absolu. En réalité, ce rendement n'est pas atteint, et on ne retire guères plus de 27^lit.^ Si on admet cette proportion, on peut établir la table suivante pour le rendement de 100 kilogrammes de mélasse.

Quantité de sucre contenue dans 100 k^es^ de mélasse.	Volume d'alcool absolu produit.
70	38^lit.^,64
60	33^lit.^,12
55	29^lit.^,36
50	27^lit.^,60
48	26^lit.^,49
46	25^lit.^,39
44	24^lit.^,28
42	23^lit.^,18
40	22^lit.^,08

On voit par ces chiffres combien il importe de connaître à l'avance et exactement le richesse saccharine de la mélasse pour pouvoir exercer sur le travail de la distillerie un contrôle efficace et maintenir la production d'alcool aussi près que possible de la proportion de 50 % du poids du sucre. On trouve en effet dans le commerce, suivant les circonstances locales et les conditions de travail des fabriques de sucre, des mélasses dont la richesse saccharine varie entre 40 et 60 %. Le seul moyen de se mettre à l'abri de tout mécompte ou de tout vice de travail consiste donc à déterminer soigneusement cette richesse.

Le fabricant de sucre, même s'il produit en même temps de l'alcool, du moment où il veut travailler rationnellement et

en tant que les circonstances le permettent, ne doit jamais envoyer à la distillation des mélasses contenant plus de 40 % de sucre. L'excédant de sucre peut en effet se retirer facilement à l'état cristallisé et, sous cette forme, a plus de valeur que transformé en alcool, puisqu'on peut produire cet alcool avec du sucre de fruits qui coûte moitié moins que le sucre de cannes, se travaille facilement et rend à peu près la même proportion d'alcool.

Au point de vue des éléments autres que le sucre, la composition des mélasses dépend naturellement de la qualité des betteraves travaillées et des procédés de fabrication suivis. Les mélasses sont formées, en dehors du sucre que nous avons appris à doser, par une dissolution de sels, d'alcalis, de matières organiques, d'acides végétaux et de substances muqueuses se rapprochant des gommes.

La quantité de ces matières varie avec la qualité des betteraves et il convient d'en tenir compte, attendu qu'elles peuvent par leur présence gêner la fermentation alcoolique. C'est ce qui arrive notamment lorsqu'il y a un excès d'alcalis. Dans ce cas, ces matières doivent être neutralisées à chaud par une addition convenable d'acide sulfurique étendu. Ce traitement, appliqué aux mélasses anciennes, déplace et volatilise l'acide acétique; en même temps, les azotates (provenant des betteraves venues dans un sol salpêtré) se trouvent décomposés.

Dans les mélasses, la matière première de la production de l'alcool, le sucre, se trouve toute formée. Le travail préparatoire à la fermentation est donc extrêmement simple, puisqu'on n'a plus, comme dans la distillerie de grains ou de pommes de terre, à déterminer la formation préalable du sucre. On se borne, après cuisson, à refroidir la mélasse avec de l'eau et à l'étendre jusqu'à ce qu'elle marque 18 % à l'aréomètre; on ajoute au liquide de bonne levûre, et on le laisse fermenter à une température de 24°.

La mélasse seule ne saurait entrer en fermentation active; la fermentation est déterminée par la levûre dont le poids peut représenter de 2 à 10 % de celui du sucre, et qui disparait

dans le travail. La fermentation de la mélasse est d'ailleurs tout aussi active, qu'on emploie de la levure de bière ou de la levûre artificielle. Toutefois, il est bon de ne mélanger d'abord le ferment qu'à une partie de la mélasse étendue. Lorsque cette première portion est en plein travail, on la verse dans la cuve qui renferme le reste du liquide.

Par elle-même, la levûre produit de l'alcool, et cette quantité doit être déduite du poids total d'alcool obtenu, lorsqu'on veut établir le rendement de la mélasse d'une façon exacte. La levûre artificielle (mélange de malt et de grain), qu'on fait fermenter, donne à peu près $0^l,17$ d'alcool par kilogramme de levûre employée.

[M. Corenwinder [1] indique de prendre pour la mélasse une densité de 1055 à 1060 à 22° en été et 24° en hiver. On ajoute, pour 100 kilog. de mélasse à 40° Baumé, $1^k,500$ de levûre pressé et $1^k,500$ d'acide sulfurique l'excès d'acide est destiné à activer la transformation en glucose et à réagir contre les fermentations secondaires.]

La fermentation des mélasses marche rapidement. Il se forme d'abord des bulles, puis une légère couche d'écume qui s'attache aux parois de la cuve, jusqu'à ce qu'enfin toute la surface soit couverte d'une croûte ou chapeau que la fermentation maintient en mouvement. La température s'élève dans ce travail de 10 à 12°. Il convient d'ailleurs d'employer de grandes cuves de fermentation, attendu que l'action chimique est plus régulière et plus complète sur de grands volumes que sur de petits.

Pour utiliser le mieux possible les cuves, on peut, une fois que la fermentation est en bonne marche, y verser de la mélasse un peu plus concentrée qu'on mélange au reste du liquide. Il ne faut pas oublier toutefois que la fermentation exige dans ce cas de la levûre forte en quantité suffisante et une température plus élevée.

Pour étendre la mélasse, on peut se servir avec avantage de jus de betterave. De cette façon, on utilise mieux les cuves

1) Sucrerie indigène.

de fermentation et, de plus, on apporte à la mélasse les nouveaux ferments qui se forment d'eux-mêmes dans le jus de betterave en fermentation.

On obtient ainsi une action plus complète et, par suite, un rendement aussi élevé que possible. C'est du reste la seule manière d'employer avantageusement le jus de betterave pour la production de l'alcool. Lorsqu'on procède ainsi, il convient de forcer l'addition de mélasse plus concentrée pendant le travail, attendu que le liquide renferme des ferments en proportion suffisante.

La fermentation est généralement terminée en 36 heures et le liquide n'accuse plus alors à l'aréomètre Balling que 4 à 6 %, suivant le degré de concentration initial.

Le mélange alcoolique est ensuite distillé. L'appareil le plus propre à ce travail est l'appareil français à distillation continue, dans lequel le chauffage est produit par la vapeur détendue dans la machine motrice. Les alcools de mélasse sont de qualité un peu inférieure aux alcools de pommes de terre ou de grains, mais, après rectification à un degré aussi élevé que possible, on ne saurait plus en reconnaître la provenance, et ils se prêtent à tous les usages.

Une fois l'alcool retiré, l'utilisation de la matière première n'est pas encore achevée. Les vinasses qui restent, et qu'on utilise tantôt pour engraisser le bétail, tantôt pour fumer la terre, contiennent toute la masse des sels alcalins, et on peut les évaporer pour en retirer la potasse.

Lorsqu'on se borne à fabriquer le salin brut, il importe de le faire dans les conditions les plus économiques, et le meilleur procédé est celui de M. Dubrunfaut: on se sert des vinasses produites, au lieu d'eau, pour étendre les portions suivantes de mélasse. De la sorte, on obtient dans la même quantité de liquides un poids double de sels. On envoie ensuite ces liquides aux générateurs. Une fois qu'ils s'y sont suffisamment concentrés, on les reprend pour achever l'évaporation dans des chaudières chauffées par la chaleur perdue du four à calciner la masse saline.

En France on fait généralement usage de fours à évaporer spéciaux. Le plus avantageux et le plus répandu de ces appareils est le four Porion.

On retire, pour 100 k^{gr} de mélasse, 10 k^{gr} de sels marquant 50 à 55 % à l'essai alcalimétrique. Cette proportion dépend naturellement de la quantité de sels que renfermaient les betteraves et qui ont résisté aux traitements de la fabrication. Mais, en fin de compte, ces matières, si nuisibles ou si gênantes qu'elles aient été au point de vue de la production du sucre, se trouvent, comme on le voit, encore utilisées.

Livre VI.

DU
NOIR ANIMAL ET DE SA REVIVIFICATION.

Chapitre I.

Considérations générales.

Quand on distille des os en vases clos et à l'abri de l'air, il se dégage des produits volatils et empyreumatiques, et il reste un charbon que l'on appelle noir animal; le poids de ce résidu constitue environ 60% du poids des os. Les os sont formés d'un tissu cellulaire, cartilagineux, dans lequel est incrustée la substance minérale. Lorsqu'on chauffe les os à l'abri de l'air, la matière organique se détruit, et le charbon auquel elle donne naissance reste disséminé dans un état de division extrême à l'intérieur des cellules très-minces de matière minérale qui forment le squelette de l'os. C'est précisément par ce grand état de division que l'on peut expliquer les propriétés absorbantes si énergiques de ce charbon.

La composition chimique du noir animal, et en particulier de la substance minérale des os, varie légèrement avec les différentes espèces d'animaux et avec leur alimentation: Elle est à peu près la suivante:

10 %	de charbon	matières minérales.[1]
78 %	de phosphate de chaux . . .	
8 %	de carbonate de chaux . . .	
4 %	de phosphate de magnésie, alcalis, florure de calcium, etc. . . .	
100 %.		

1) Heintz donne pour la partie minérale des os de bœuf la composition suivante

Carbonate de chaux	10,07
Phosphate de chaux	83,07
Phosphate de magnésie	2,98
Fluorure de calcium	3,88
	100,00

Nous avons indiqué déjà, dans le chapitre de la filtration des jus, les caractères d'un noir de bonne qualité, et nous ne reviendrons pas sur ce sujet. Quant à la calcination, elle doit être poussée jusqu'à la décomposition complète de la matière organique, mais elle ne doit pas aller au-delà. Le noir qui n'a pas été suffisamment calciné a une couleur d'un brun roux; souvent on le colore avec du goudron ou d'autres matières analogues; mais cette falsification a pour résultat de boucher les pores et de recouvrir la surface des grains d'un enduit qui diminue notablement l'effet utile. Le noir récemment préparé est très-avide d'eau; exposé à l'air, il en absorbe 10% de son poids, et, si on l'humecte, cette humidité peut s'élever jusqu'à 20% sans être sensible.

Nous avons déjà donné, dans une autre partie de l'ouvrage, quelques considérations historiques; nous les complèterons ici brièvement. Anthon, en 1858, reconnut que la propriété du noir d'absorber des dissolutions les matières organiques est modifiée plus ou moins par la présence des alcalis; ainsi, si un noir a absorbé la matière colorante d'une liqueur neutre chimiquement, il abandonnera cette matière, au moins en partie, si on le met en présence d'une dissolution alcaline. Cette découverte est le point de départ d'un procédé de revivification remis en lumière de nos jours.

Bussy, en opérant sur du noir qui avait décoloré une dissolution d'indigo et qui avait été lavé à grande eau, parvint à lui enlever par la potasse, la soude et l'ammoniaque, une partie notable de la matière colorante que l'eau n'avait pu entraîner. Ce fait, ainsi que plusieurs autres, ne saurait s'expliquer par un simple effet d'attraction moléculaire par les surfaces.

L'action de la chaleur augmente habituellement le pouvoir décolorant du noir. Toutefois, une ébullition prolongée des liquides en présence du noir remet en liberté une partie des matières colorantes absorbées. Un traitement réitéré par l'eau bouillante offre donc le moyen de débarrasser le noir de ces matières.

De même, le noir abandonne à l'eau froide une partie des principes colorants qu'il a pu enlever aux dissolutions chaudes. Mais ici, ce n'est pas, à proprement parler, l'eau qui agit, mais bien l'abaissement même de température, qui diminue le pouvoir décolorant (Anthon).

Musspratt cherche à expliquer l'action du noir en admettant qu'il joue le rôle d'une base faible, et se combine avec les matières colorantes ou autres; mais cette hypothèse se trouve contredite par l'absorption des alcalis que nous avons étudiée dans un précédent chapitre. D'ailleurs, elle n'expliquerait pas le fait de la sélection qu'opère le noir sur les substances en dissolution. Ainsi, par exemple, le noir n'absorbe pas de sucre, ou n'en absorbe que très-peu; si nous ne pouvons retrouver après filtration la totalité du sucre et si nous en constatons une diminution de 5 % environ, cette perte doit être attribuée à une action purement mécanique, ou tout au moins elle prouve une affinité très-faible du noir pour cette matière. D'autre part, le noir ne retient pas le salpêtre et le chlorure de calcium, par exemple; ces principes se retrouvent intégralement dans les liquides. Par contre, il absorbe jusqu'à 30 % des quantités renfermées dans le liquide, pour les alcalis, soit libres, soit à l'état de phosphates ou de carbonates. Cette absorption s'élève jusqu'à 61 % pour la chaux, d'après Anthon. Comment expliquer ces faits par une simple question d'affinité de surface?

Dans un chapitre précédent nous avons déjà vu que le pouvoir décolorant d'un noir ne pouvait être pris comme une mesure exacte de sa qualité; il en est de même de la faculté d'absorption pour la chaux. Anthon a démontré que le noir doit cette dernière propriété à l'acide carbonique condensé dans ses pores; ainsi, le noir employé immédiatement après sa calcination n'absorbe que 0,40% de son poids en chaux; conservé dans un local fermé, il en absorbe 2,70 % et, si on l'a maintenu dans une atmosphère d'acide carbonique, il se charge de 4 % de chaux. Toutefois, il serait bien possible que l'acide carbonique existât dans le noir sous forme de carbonate d'am-

moniaque, lequel se décomposerait en présence de la chaux pour donner un carbonate calcaire et laisserait dégager l'ammoniaque volatile.

Quoiqu'il en soit, le chiffre de 4% de chaux absorbée par le noir nous parait bien élevé. Dans la pratique, on n'atteint jamais cette limite, comme le prouve l'exemple suivant: 50,000 k^{os} de betteraves à 90 % de jus donnent 45,000 k^{os}, lesquels à 0,25 % de chaux correspondent à une absorption journalière de 112^{k},50 de cette base. Il faudrait donc, pour absorber cette chaux et à raison de 4 % 112,50 × 25 ou 2812 k^{os} de noir. Or, en fait, avant qu'on n'eût recours à la saturation par l'acide carbonique, on comptait pour cette élimination de 112^{k},5 de chaux 10,000 k^{os} de noir, ce qui ne correspond qu'à 1,2 % du poids du noir. Au contraire, la donnée admise par Anthon que le noir absorbe de 50 à 70 % du poids de la chaux contenue dans les dissolutions concorde parfaitement avec l'expérience journalière des fabriques.

En dehors de l'acide carbonique, l'acide phosphorique nous offre encore un moyen admissible d'éliminer la chaux; le noir a donc perdu à ce point de vue la plus grande partie de sa valeur, mais son action absorbante sur les matières azotées organiques qu'on désigne sous le nom collectif de matières protéiques a toujours une grande importance pour la fabrication du sucre. Malheureusement, cette action du noir animal n'a pas encore été suffisamment étudiée à raison de la difficulté que présente l'isolement de ces matières. Plusieurs auteurs, et nous sommes du nombre, pensent que l'absorption de ces matières par le noir ne dépasse pas 30 % du poids primitif renfermé dans les jus. Quelques unes même de ces matières ne paraissent nullement absorbées par le noir, au moins par le noir de qualité médiocre. Nous n'avons pu faire dans ces derniers temps qu'un petit nombre d'essais à ce sujet, en laissant couler du jus sur un filtre et dosant aux diverses heures de la filtration le taux % de ces matières contenues dans le jus. Si l'action du noir animal sur les matières protéiques était très-grande, les premières portions du liquide filtré devraient con-

tenir beaucoup moins de ces matières que celles qui viennent ensuite. Or, jusqu'ici, nous n'avons pu constater cet effet que pour les jus; pour les sirops, l'absorption parait complètement nulle. Toutefois, ces essais sont encore insuffisants pour trancher la question, et il faut attendre les résultats de nouvelles expériences. Mais ces premières recherches me confirment dans l'idée que l'on pourrait trouver pour éliminer d'une manière plus rapide et plus sûre les matières protéiques des jus, d'autres agents que le noir.

Le noir a, selons nous, un autre avantage important, c'est sa faculté d'absorption pour les sels et les alcalis que renferment les jus, propriété que nous croyons avoir le premier mis en évidence par des expériences pratiques et décisives. Bien que plusieurs fabricants mettent en doute cette faculté du noir d'absorber les alcalis, je la tiens pour l'une de ses propriétés essentielles, d'autant plus que, jusqu'ici, c'est le seul moyen dont nous puissions disposer pour enlever ces matières salines aux dissolutions sucrées. L'observation d'Anthon, que la silice et l'alumine peuvent s'emparer des alcalis, est le premier pas important qui ait été fait dans cette direction; mais, tant que la voie n'aura pas été parfaitement aplanie pour la pratique, le noir sera toujours l'agent indispensable de la fabrication du sucre.

En effet, les 45,000 k^{os} de jus que l'on travail journellement contiennent, à raison de 0,7 %, 315 k^{os} environ de sels alcalins. Sur cette quantité, le noir absorbe de 13 à 20 %, soit de 40^{kos},9 à 63 k^{os}. En admettant qu'une partie de sels empêche de retirer dans la pratique de 3 à 4 parties de sucre au minimum, on voit que ces 40^{k},9 ou 63^{k} de sels feraient perdre au moins de 164 à 252 k^{os} de sucre, et il y a tout profit à éliminer ces sels par le noir. Malheureusement, le noir n'est pas toujours en état d'absorber autant d'alcalis; il conserve toutefois cette propriété assez longtemps, et il resterait à déterminer par des expériences exactes suivant quelle loi diminue son pouvoir absorbant avec le temps. On peut cependant admettre qu'en enlevant au noir d'une manière com-

plète les alcalis qu'il a absorbés, on lui restitue la propriété d'en absorber de nouveau une quantité égale, et l'acide chlorhydrique nous offre un moyen économique de réaliser cette condition.

Après avoir ainsi parlé des matières que le noir neuf peut absorber, nous avons à étudier sa revivification, c'est-à-dire les moyens de lui restituer ses propriétés et son action premières.

A proprement parler, le noir neuf et son action devraient être pris comme base toutes les fois qu'on veut apprécier la valeur d'un noir; mais le noir neuf, tel qu'on le rencontre généralement dans le commerce, est loin de remplir les conditions voulues par la fabrication. Il exige d'abord une calcination destinée, suivant l'opinion de Ventzke, à chasser le gaz ammoniac qu'il a absorbé au contact de l'air. Dans des essais sur cette question, j'ai trouvé effectivement que les liquides filtrés sur du noir neuf présentaient une réaction alcaline, mais je crois que cet effet était dû, outre l'ammoniaque, à d'autres principes alcalins, car ces liquides évaporés laissaient un résidu solide et alcalin lui-même. Ces alcalis, (probablement mis en liberté par la calcination), peuvent être éliminés, soit par un traitement à l'acide, (il suffit d'un demi % au plus), soit par une série de lavages à l'eau pure (chaude ou froide). Ces lavages doivent être répétés au moins 20 fois pour atteindre complètement leur but; à ce titre, il parait préférable d'employer l'acide chlorhydrique, dont l'effet est plus sur et plus rapide, d'autant plus qu'on n'a pas toujours à sa disposition de l'eau pure pour ces lavages. Celle qu'on emploie d'habitude renferme souvent, d'après les recherches de Monier, jusqu'à 58 millig. par litre de matières organiques. Or, dans les opérations de la filtration, du dégraissage dans le filtre, du lavage, le noir se trouve en contact avec une quantité d'eau qui représente de 5 à 10 fois son poids, et ces diverses opérations se répètent de 10 à 20 fois dans une campagne; il n'y a dès lors rien d'étonnant à ce que le noir perde, par le fait même de ces traitements, une partie de son effet, et ne puisse plus enlever aux jus qu'une proportion réduite de ces matières organiques.

Il est vrai que ces dernières se trouvent détruites de nouveau par la calcination, mais c'est au détriment de la qualité du noir dont les pores s'oblitèrent.

Il me parait donc convenable, partout où on n'a pas à sa disposition de l'eau bien pure, d'employer au lavage des noirs l'eau des retours provenant de la condensation des vapeurs, de façon à effectuer ce lavage dans les meilleures conditions possible. Aujourd'hui, les fabricants se préoccupent surtout de ramener ces eaux distillées aux chaudières pour diminuer les incrustations. Mais les incrustations dans les chaudières se reconnaissent toujours sans peine, tandis qu'on ne peut pas les constater dans le noir où elles se forment identiquement de même. Ce fait parle de lui-même pour justifier l'emploi de l'eau distillée au lavage du noir, d'autant mieux qu'il est beaucoup moins facile de dépouiller le noir de ces dépôts que de prévenir ou de combattre les incrustations dans les chaudières, soit en réchauffant l'eau d'alimentation, soit par tout autre moyen.

La revivification du noir animal a pour but de lui rendre, au moins en partie, ses propriétés absorbantes. Elle doit donc lui enlever toutes les matières dont il s'était chargé pendant la filtration des jus.

Chapitre II.

Elimination de la chaux par l'acide chlorhydrique.

La première opération, quand on revivifie le noir, est habituellement l'élimination de la chaux. Pour cela, on jette le noir dans des cuves ou citernes en bois ou en pierres, et on verse dessus une dissolution étendue d'acide chlorhydrique. Pour que l'acide agisse aussi uniformément que possible, on soutire à diverses reprises le liquide pour le reverser à nouveau sur le noir. Au bout de 8 heures, (et, dans quelques fabriques, au bout de 8 jours), on regarde l'opération comme terminée.

[L'acidulation du noir est assez délicate, parcequ'il est essentiel de ne pas lui enlever tout son carbonate de chaux; pour être dans de bonnes conditions il faut lui en conserver de 3 à 3,5 % au minimum. Beanes a indiqué une méthode d'acidulation qui donne d'excellents résultats; elle consiste à "saturer le noir parfaitement sec d'acide chlorhydrique gazeux, très-sec également, à le laisser exposé à l'air pendant quelque temps puis à le laver à grande eau."]

L'emploi de l'acide chlorhydrique dans ces conditions repose sur la propriété que possède le noir de ne pas absorber le chlore, tandis qu'il retient, par exemple,

43^{p},5 d'ammoniaque,
9^{p},0 d'acide sulfhydrique,
5^{p},0 d'acide carbonique,
0^{p},5 d'azote,
17^{p},5 d'acide sulfureux.

C'est cette inertie pour les chlorures qui permet seule d'éliminer le chlorure de calcium.

Le lavage à l'acide, effectué dans les conditions exposées ci-dessus, ne me parait pas cependant se faire de la façon la plus convenable pour le but que l'on se propose d'atteindre. On sait en effet que les premières couches de noir, à partir du haut des filtres, retiennent plus de chaux que les couches du bas; (d'après quelques essais le rapport serait de 6 à 1). En raison de cette inégale répartition de la chaux, certaines parties du noir sont trop attaquées par l'acide qui dissout plus ou moins la matière constitutive du noir, tandis que, sur d'autres points, la chaux absorbée n'est même pas complètement saturée.

Ce procédé a d'ailleurs l'inconvénient d'entraîner des manipulations nombreuses du noir: il faut le sortir du filtre, le porter aux cuves à acide, l'en retirer etc.; toutes ces opérations ne peuvent se faire sans perte de noir et sans une main-d'œuvre qui les fait ressortir à un prix élevé.

Ces divers inconvénients me paraissent faciles à éviter en faisant agir l'acide dans le filtre lui-même, et en opérant de la façon suivante: aussitôt que le jus a fini de filtrer, et qu'on

a terminé le dégraissage du filtre, on ferait arriver dans le filtre, par le bas, un courant d'eau chaude qui traverserait le noir de bas en haut, en sens contraire du mouvement ordinaire des jus. On entrainerait ainsi beaucoup des matières qui se déposent mécaniquement et surtout dans les couches supérieures. On pourrait, pendant le travail, à l'aide d'un serpentin ménagé sous le double-fond du filtre ou avec un jet de vapeur directe, maintenir l'eau en ébullition et redissoudre ainsi beaucoup plus de matières colorantes, comme nous l'avons vu plus haut.

Après quelque temps d'un semblable lavage, on supprimerait l'arrivée de l'eau par le bas, et on laisserait couler par la partie supérieure, sur le noir imbibé d'eau, de l'acide chlorhydrique étendu. En ouvrant le robinet de vidange du bas, l'eau chaude s'écoulerait au fur et à mesure de son déplacement par la dissolution acide. Les avantages de ce procédé sont d'ailleurs évidents. L'action de l'acide chlorhydrique sur le noir est le plus énergique sur les parties le plus chargées de chaux, et cette proportionnalité dans l'action empêche toute altération de la matière du noir. L'écoulement de l'eau par le bas permet de régler et de prolonger l'action de l'acide sur les couches successives; l'élévation de la température facilite (d'après Otto) la marche de l'opération et, dans ces conditions, tout le travail, se passant dans l'atelier même de la filtration, exécuté sans le concours d'ouvriers supplémentaires, ne prend pas plus de 2 à 3 heures.

Ce procédé exigerait, il est vrai, que les filtres ne fussent plus construits en tôle, mais en matériaux susceptibles de résister à l'attaque des alcalis et des acides. Beaucoup de substances, notamment les poteries émaillées, remplissent à cet égard les conditions voulues; elles sont déjà adoptées dans beaucoup d'autres industries, et, dans le cas qui nous occupe, la dépense supplémentaire d'installation serait compensée et au delà par les nombreux avantages qui en résulteraient.

On a également proposé, avant de traiter le noir par l'acide, de le laver à l'eau, soit dans des bacs spéciaux, soit dans une machine à laver, de façon à le débarrasser d'une

partie au moins de ses impuretés mécaniques; seulement, ce procédé ne ferait que compliquer sans profit le travail, et entrainerait forcément une certaine perte de noir, (½ % environ), par suite des frottements inévitables qu'aurait à subir cette matière.

Dans le procédé que nous avons indiqué plus haut, la quantité d'acide nécessaire pour chaque filtre est beaucoup plus facile à déterminer qu'elle ne l'était avant; si on connait, et c'est toujours les cas dans une fabrique bien menée, le volume et par suite le poids de jus qui passe sur un filtre, si d'autre part on soumet ces jus à un essai alcalimétrique après la saturation et après la filtration, on peut calculer sans difficulté la quantité d'acide à verser sur le noir. Supposons, par exemple, qu'on ait fait passer sur un filtre 5000 k^{os} de jus; que son alcalinité soit de 0,80 avant filtration et de 0,20 après, celle de l'eau de chaux étant prise pour unité; il en résulte que le jus aurait cédé au noir une quantité de chaux représentée par 0,60 de celle de l'eau de chaux. Cette dernière contient, comme nous l'avons vu, 0,136 % de chaux; la proportion de chaux et d'alcali absorbée serait, par 100 k^{os} de jus, 0,136 × 0,60 ou 0,0816. Pour 5000 k^{os} de jus, le noir aura donc absorbé 4^{k},08 de matières alcalines.[1] Cette proportion, à raison de 2 parties d'acide pour 1 de chaux, exigera 8^{k},16 d'acide chlorhydrique, soit, pour 20 % de noir, 0,8 % de son poids.

Ce calcul, très-facile à établir dans une usine bien menée, donne le poids de chaux ou d'alcalis réellement absorbé par le noir, tandisque l'analyse directe du noir, au point de vue de sa teneur en chaux, ne donne que des résultats incertains par suite de l'inégale répartition de cette base dans les matières analysées. Il est d'ailleurs indifférent que la chaux se trouve dans le noir à l'état libre ou sous forme de carbonate.

---

1) Dans notre exemple, nous avons admis 4^{k},08 par 100 k^{os} de jus, soit 36^{k},72 pour 45,000 k^{os}, tandis que précédemment nous avions compté de 40^{k},9 à 63^{k} d'alcalis. Cette différence tient à ce que, la première fois, nous supposions l'emploi de bon noir, tandis qu'ici nous avons pris des chiffres empruntés à la pratique en grand, où l'on fait souvent usage de très-mauvais noir, et où l'on n'enlève que la moitié environ des alcalis qui pourraient être absorbés.

Le calcul précédent indique seulement, à proprement parler, le poids des matières alcalines enlevées aux jus. Quant à la dose d'acide nécessaire pour reprendre ces matières au noir, elle dépend naturellement de la richesse de l'acide commercial, et, comme cette richesse croit à peu près proportionnellement avec la densité, la table suivante suffit parfaitement pour la pratique.

100 k^os d'acide chlorhydrique du commerce

marquant			contiennent en acide réel.	dissolvent en carbonate de chaux.
taux °/₀ de Brix ou Balling.	degrés Baumé.	densité.		
40	22	1,180	36k,3	49k,7
39,5	21,5	1,176	35k,5	48k,6
38,3	21	1,170	34k,2	47k,0
37,4	20,5	1,166	33k,4	45k,8
36,4	20	1,161	32k,5	44k,5
35,5	19,5	1,156	31k,5	43k,3
34,5	19	1,152	30k,5	42k,0
33,6	18,5	1,147	29k,7	40k,8
32,7	18	1,143	29k,0	39k,7
31,8	17,5	1,138	28k,0	38k,5
30,8	17	1,134	27k,0	37k,0
29,8	16,5	1,128	26k,0	35k,7
29	16	1,125	25k,3	34k,7
28	15,5	1,120	24k,5	33k,5

Si, par exemple, en travaillant 50,000 k^os de betteraves par jour, on voulait retirer au noir 36k,72 de chaux, en employant de l'acide chlorhydrique à 20° Baumé, on voit d'après la table qui précède que 100k d'acide à 20° Baumé dissolvent 44k,5 de chaux; il faudrait donc pour 36k,72 en employer 82k,50.

Au lieu d'acide chlorhydrique, on peut employer avec profit le vinaigre que, dans certains pays, en Russie par exemple, on produit avec les mélasses à un prix moins élevé que l'acide chlorhydrique. Le vinaigre a l'avantage de ne pas

contenir d'acide sulfurique; il ne faisse donc pas dans le noir de dépôts de sulfate de chaux; en outre, la matière calcaire constitutive du noir est plus difficilement attaquée par lui. On a également proposé l'emploi de l'acide carbonique, qui, injecté dans les filtres, transformerait le carbonate de chaux en bicarbonate lequel est soluble et qu'il serait facile de séparer ensuite du noir. Si simple que soit cette idée, elle parait d'une application difficile: l'action de l'acide carbonique sur le carbonate neutre de chaux est très-lente et prendrait des jours entiers; d'autre part, il resterait encore à savoir si ce réactif assurerait la dissolution complète des alcalis et leur élimination du noir, ce qui parait au moins douteux.

Chapitre III.

Elimination des matières organiques par la fermentation ou les lavages alcalins.

Une fois le noir débarrassé de la chaux, on procède ordinairement à l'élimination des matières organiques, soit par la fermentation, soit par les lavages avec des dissolutions alcalines. Presque tous les principes organiques contenus dans le jus des plantes subissent, au contact de l'oxygène de l'air atmosphérique, et dans des conditions déterminées, le genre de décomposition qu'on désigne sous les noms de fermentation, putréfaction ou pourriture sèche. Par suite de cette transformation, les éléments des matières organiques se trouvent ramenés à l'état sous lequel ils se trouvaient avant leur assimilation par la plante. Mais cet effet exige pour se produire l'action concomitante des trois agents: la chaleur, l'eau et l'air ou l'oxygène. Dans la fabrication du sucre, on distingue la fermentation proprement dite de la putréfaction, en d'autres termes, la fermentation sèche de la fermentation humide. Mais, dans tous les cas, la réaction est due aux mêmes causes, et donne naissance en fin de compte

aux mêmes prodtuits, savoir: de l'acide carbonique, de l'eau et de l'ammoniaque.

Dans le traitement par la fermentation humide, le noir chargé de principes organiques est additionné d'eau, et abandonné pendant plusieurs jours à lui-même. Les matières qu'enlève l'eau donnent alors généralement naissance à des produits d'odeur nauséabonde. Lorsqu'on veut diminuer l'inconvénient de ces odeurs, on laisse couler l'eau à plusieurs reprises, (une fois par jour environ), et on la remplace par d'autre eau à la même température. L'eau qu'on laisse ainsi perdre ne contracte d'odeur désagréable qu'au bout d'un jour ou deux, et son renouvellement ne nuit en rien à la marche de la fermentation, si l'on a soin, comme on peut le faire sans difficulté, d'éviter une variation trop notable de la température.

On peut rendre la fermentation beaucoup plus active en ajoutant à l'eau des matières déjà en fermentation, comme du sang corrompu, de l'eau de son, etc. Ces matières, de même que tous les corps en décomposition, agissent comme ferment et rendent le travail du reste de la masse plus actif.

La fermentation par voie humide a l'avantage de s'achever très-rapidement. Il est probable que l'eau dont on arrose le noir, (et qui prend elle-même part à la décomposition), facilite par sa mobilité le contact des diverses molécules et contribue par cela même, non seulement à hâter le départ de la fermentation, mais encore à en activer la marche.

Il est extrêmement important de multiplier et de renouveler les contacts des substances que l'on veut faire fermenter ou faire pourrir: d'après Liebig, un grand nombre de substances placées dans ces conditions possèdent, même à la température ordinaire, une affinité pour l'oxygène assez grande pour donner avec lui des combinaisons qui, dans d'autres circonstances, exigeraient pour se former une chaleur plus élevée.

On a souvent reproché à la fermentation humide de ne fournir que peu d'oxygène aux matières organiques du noir; ce reproche ne me semble nullement fondé, car l'eau renferme 89 % d'oxygène, tandis que l'air n'en contient que 23 %.

Il peut être utile de rappeler ici, à propos de la fermentation humide du noir, quelques observations faites de part et d'autre sur le même sujet. Déjà, Rumford avait observé que la soie, la laine, le coton et d'autres substances organiques, placés dans un vase entièrement rempli d'eau et exposés au soleil, donnaient naissance, au bout de 3 ou 4 jours, à un dégagement d'oxygène pur. Liebig prit de l'eau dans une citerne exposée au soleil, la filtra, et en remplit une éprouvette. Au bout de 15 jours, pendant lesquels la surface du liquide s'était recouverte d'une moisissure verdâtre et composée d'infusoires, il s'était dégagé 450 cent. cubes environ d'oxygène assez pur pour rallumer un morceau de bois encore en ignition. Déjà, en 1841, MM. A. et Ch. Morren démontraient que, en présence des matières organiques, l'eau laissait dégager un gaz contenant 61 % d'oxygène, et que ce phénomène devait être attribué à de petits animalcules verts et rouges, le Chlamidonas pulvisculus d'Ehrenberg (Liebig).

L'oxygène qui se développe dans une dissolution contenant des matières encore en fermentation ou en décomposition, se combine donc directement avec ces principes pour activer leur destruction; d'autre part, d'après Liebig, les infusoires constituent par eux-mêmes une source d'oxygène; il ne serait donc pas impossible, dans les fabriques, de conserver une ou plusieurs cuves d'eau chargée de ces infusoires pour activer et rendre plus énergique la destruction des matières organiques du noir à l'aide de cette source abondante d'oxygène. Cette idée me paraitrait au moins mériter des essais plus approfondis.

Pouillet, dans son traité de physique, indique que la lumière exerce sur la décomposition des matières organiques une influence très-nette: elle favorise la combinaison de l'oxygène de l'air avec le carbone et l'hydrogène des matières organiques. C'est sur la même action qu'est basé le blanchiment des couleurs végétales exposées au soleil. Ce point devrait donc également donner lieu à des expériences spéciales pour la question qui nous occupe.

Nous passons maintenant à l'étude de la fermentation par voie sèche, expression du reste inexacte, puisque, sans humidité, et avec des matières complètement sèches, aucune fermentation n'est possible. La seule différence qui existe par rapport à la méthode précédente, c'est qu'on emploie moins d'eau, mais les produits de la réaction sont les mêmes. Dans la fermentation par voie sèche, les produits se combinent exclusivement avec l'oxygène de l'air. Le noir humide est exposé à l'air en tas de faible hauteur, et à une température déterminée (32 à 37°), favorable à la marche rapide de la réaction. Le manque de chaleur suffisante, le froid, paralysent la fermentation: c'est pour cette même raison que, pendant l'hiver, on peut conserver longtemps et sans altération de la viande, du gibier etc. Il est en outre indispensable de maintenir au noir une humidité suffisante, pour que la fermentation, une fois commencée, puisse se propager d'un point à l'autre de la masse. On se trouverait d'ailleurs bien, surtout au début, d'humecter ou d'arroser le noir avec de l'eau chaude.

Le Dr Renner indique [1] que les matières organiques du noir parcourent plus vite la série de leurs décompositions, quand elles se trouvent en contact avec du sucre qui se décompose lui-même. Comme le noir retient dans ses pores 5 % de jus (voir la filtration), cette condition se trouve remplie d'elle-même, si toutefois le sucre n'a pas été détruit par un traitement préalable, par un lavage à la soude, par exemple.

Pour que la décomposition s'opère, la condition essentielle est naturellement que l'air ait un accès facile sur le noir. Ce dernier doit donc être en masses aussi peu compactes que possible, et disposé en tas de faible hauteur. Dans la pratique, une hauteur de $0^m,50$ à $0^m,60$ constitue une limite qu'il convient de ne pas dépasser, à moins qu'on n'ait recours à d'autres moyens pour assurer la circulation de l'air. C'est également commettre une grande faute que de faire fermenter le noir sur un plancher que l'air ne puisse pas traverser librement. La

1) Journal polytechnique de Dingler. T. CLXVI, p. 295.

fermentation n'est en effet qu'une combustion lente; il se produit de l'acide carbonique qui, plus lourd que l'air atmosphérique, se rassemble dans les couches inférieures, et empêche l'air d'arriver sur le noir. Une expérience très-simple prouve que les choses se passent bien réellement ainsi: si on prend un tonneau garni d'un double-fond à claire-voie et qu'on y laisse fermenter du noir, puis qu'au bout de quelque temps on perce un trou dans la paroi, vers le fond, ou qu'on ouvre un robinet ménagé à cet endroit, il s'échappe au dehors un gaz qui a la propriété d'éteindre les lumières. Cette expérience prouve donc, non seulement qu'il s'est produit de l'acide carbonique, mais encore que ce gaz cherche à s'échapper par la partie inférieure du récipient. Il convient dès-lors, pour activer la réaction par la circulation de l'air, de permettre à l'acide carbonique de se dégager en disposant le noir sur des claies tressées analogues à celles dont on se servait autrefois pour les presses, ou d'installer les masses de fermentation au premier étage de l'usine.

La marche de la fermentation s'accuse par l'élévation de la température. Le noir s'échauffe souvent de 25 à 50 et 75°; il peut même arriver à s'enflammer. On évite ce danger en retournant la masse et éparpillant le noir sur le plancher. Au bout d'un certain temps, la température des tas s'abaisse et redevient égale à celle du local; le noir a pris un goût franc, on peut alors considérer le travail chimique comme terminé.

Si l'on compare les deux méthodes que nous venons de décrire, on trouve que la fermentation dure de 12 à 20 jours par la voie sèche, de 6 à 7 par la voie humide. Dans les deux cas, ce travail exige donc un capital assez important et comme locaux, et comme approvisionnement de noir. Néanmoins, ces méthodes sont encore les plus économiques de toutes celles que nous connaissons jusqu'ici. Aucune des deux n'assure la destruction complète des matières organiques, et nous sommes obligés de recourir à d'autres traitements pour enlever le reste de ces principes, mais tous les autres systèmes ont des inconvénients analogues: le traitement par les alcalis libres ou carbonatés revient plus cher sans donner de meilleurs résultats.

Anthon et Pelouze ont successivement préconisé l'emploi des dissolutions alcalines, caustiques ou carbonatées, pour débarrasser le noir animal des matières organiques. Ils se fondaient sur d'anciennes expériences de Bussy, d'après lesquelles les alcalis, surtout à chaud, ont la propriété de redissoudre les principes colorants qui résistent à l'action de l'eau, des acides et de la chaux. A la température de l'ébullition, les alcalis prennent effectivement une coloration jaune très-marquée; partant de ce fait comme d'un indice assuré de l'effet de ces agents, les auteurs de la méthode espéraient réduire à quelques heures la durée du traitement du noir, traitement qui jusque là exigeait des journées entières. Mais, d'un autre côté, le Dr Renner [1] objecte, qu'après avoir été porté à 100° en présence des liqueurs alcalines, le noir retient encore une notable proportion de matières colorantes et des restes d'autres principes organiques; l'expérience démontre d'ailleurs que les résultats obtenus par ce traitement sont l'oin d'être très-satisfaisants. Dans tous les cas, cette méthode exige un second lavage par l'acide chlorhydrique pour saturer les alcalis que le noir retient, et qui, sans cette précaution, exerceraient ensuite sur le sucre une action nuisible. La quantité de soude caustique nécessaire est évaluée par le Dr Renner à 1 et 1,75 % du poids du noir, quantité qui parait très-forte, et correspond à une dépense élevée, car les frais d'évaporation seraient trop élevés pour qu'on puisse revivifier la base. Cependant, si l'on voulait substituer ce traitement à la fermentation, on pourrait opérer dans les filtres même et immédiatement après le dégraissage; il ne resterait plus qu'à faire agir l'acide chlorhydrique pour dissoudre les sels, la chaux et la soude absorbés par le noir. Dans ces conditions, la dépense de soude serait compensée en partie par l'économie sur la main-d'œuvre; l'opération ne prendrait que de 6 à 8 heures, et il ne resterait plus qu'à procéder au lavage et à la calcination. Du reste, le traitement du noir, à chaud, par le carbonate de soude (soude du commerce), est moins utile, le plus souvent, pour

1) Journal polytechnique de Dingler. T. CLXVI, p. 299.

éliminer les matières organiques que pour détruire le sulfate de chaux absorbé par le noir. Le sulfate de chaux est en effet décomposé par le carbonate alcalin; il se forme du sulfate de soude soluble qu'on peut éliminer par un lavage soigné, et du carbonate de chaux qu'on peut traiter par l'acide chlorhydrique. Une partie de sulfate de chaux exige pour cette réaction de 1,90 à 1,95 de soude calcinée; dans la pratique, on doit doubler cette dose pour obtenir une décomposition rapide et assurée. Il reste alors, dans le noir, pour chaque partie de sulfate de chaux, 0,75 de carbonate de chaux, qu'on déplace par l'acide chlorhydrique (Otto).

Dans la plupart des fabriques, après la fermentation, on traite le noir par une solution de soude bouillante, et on procède ensuite au lavage. Tout au moins, lorsqu'on n'emploie pas la soude, il convient de faire suivre la fermentation par un lavage à l'eau bouillante, pour désagréger et dissoudre aussi complètement que possible les principes qui auraient pu resister à la fermentation. On peut se servir à cet effet des vases représentés dans les figures 169 et 170 ci-contre: l'eau arrive en b' à la partie inférieure du récipient A, traverse la couche de noir maintenue entre deux grillages k et m, et s'écoule par le haut, entrainant sous forme d'écumes les matières étrangères. En même temps, de la vapeur arrivant en a maintient l'eau en ébullition. Le vase A est porté par des tourillons creux a et b sur les coussinets des bâtis P, et il suffit de le renverser pour le vider; on peut d'ailleurs disposer l'appareil de telle sorte que le noir tombe de là directement dans le laveur. Le noir se trouve ainsi beaucoup moins retourné et moins brisé que dans le méthode ordinaire, ce qui constitue pour l'emploi de ces récipients un avantage sérieux.

Autrefois, pour rendre au noir son activité, on se bornait à le soumettre à un simple lavage dans des sortes de filtres, ou dans des cuves. En opérant ainsi, on espérait, tout en évitant les pertes inséparables d'un traitement mécanique, éliminer la chaux en vertu de sa solubilité dans l'eau. Mais

l'expérience, comme nous l'avons vu, a démontré que ce traitement n'était point suffisant.

Fig. 169.

Fig. 170.

Dans ces derniers temps, le Dr Eisfeldt a proposé, pour la revivification du noir, une méthode nouvelle qui consiste à faire bouillir le noir avec les eaux de condensation de la deuxième caisse des appareils à évaporer à double effet. Les opérations

sont alors les suivantes: Traitement à l'acide s'il est nécessaire; — fermentation; — lavage; chauffage avec les eaux du double effet; — dessiccation et calcination. On voit qu'en somme le côté spécial à cette méthode est le traitement à chaud par des eaux ammoniacales. Jusqu'ici on n'a encore publié aucun résultat d'expériences concluantes sur l'effet des eaux ammoniacales. Que ces eaux agissent comme dissolvant des matières encrassantes organiques, c'est un fait acquis depuis longtemps. Il y a déjà nombre d'années qu'on lave les sacs des presses avec ces mêmes eaux ammoniacales de l'évaporation, et qu'on obtient ainsi un nettoyage plus complet des étoffes. Quant à savoir si les eaux dont il s'agit peuvent dissoudre le sulfate de chaux du noir, c'est un point sur lequel les données me manquent pour me prononcer, faute d'expériences personnelles dans l'objet. Enfin, d'après l'inventeur, les eaux ammoniacales dissoudraient également la chaux absorbée par le noir, de sorte qu'il ne faudrait plus ensuite qu'une dose beaucoup moindre d'acide chlorhydrique. Je ne saurais partager cette manière de voir et j'estime que l'acide chlorhydrique sera toujours nécessaire pour éliminer la chaux et les alcalis. Quoiqu'il en soit, l'action la plus réelle dans cette méthode me parait celle qui résulte d'un traitement prolongé du noir à la température de l'ébullition par les eaux pures ou ammoniacales.

Les appareils que comporte le méthode d'Eisfeldt sont d'ailleurs peu compliqués. Après fermentation, le noir passe dans un laveur mécanique, puis arrive dans l'appareil où agit le liquide bouillant et qui est disposé comme celui que nous avons précédemment décrit. L'eau ammoniacale du double effet arrive dans le compartiment inférieur par un tuyau en fer de 25 à 30 millimètres. Une fois que cette eau a imprégné dans son mouvement de bas en haut la charge de noir et qu'elle a coulé par dessus les bords pendant quatre minutes environ, on fait arriver la vapeur et on maintient les liquides qui circulent en ébullition pendant une heure au moins, jusqu'à ce que l'eau à sa sortie n'accuse plus qu'une légère teinte opaline. A ce moment on ferme les robinets d'arrivée de la vapeur et

de l'eau ammoniacale, on vide l'appareil par le bas, on le remplit d'eau pure qu'on porte à son tour à l'ébullition, enfin on envoie le noir à la dessiccation et au four à revivifier. Il est incontestable que dans ces conditions, le lavage énergique à chaud avec de l'eau pure doit exercer un effet précieux.

L'inventeur recommande d'employer de l'eau de condensation des machines pour la dernière opération à chaud et pour le lavage qui la suit. C'est une précaution très-utile et sur laquelle on avait d'ailleurs insisté longtemps auparavant. Les eaux de fleuve ou de puits ne peuvent s'employer pour ces lavages que si elles sont assez pures pour ne pas donner de précipité sensible quand on les mélange aux eaux ammoniacales du double effet.

Dans le système d'Eisfeldt, on emploie pour le traitement du noir la totalité des eaux provenant des appareils d'évaporation de la fabrique. On est même allé jusqu'à faire passer ces eaux dans deux appareils conséactifs chargés de noir, de façon à réaliser un traitement méthodique et utiliser d'une manière plus complète la teneur de ces eaux en ammoniaque. Cette complication me parait un peu exagérée et j'estime que les appareils uniques et plus simples décrits plus haut doivent suffire amplement.

Chapitre IV.

Lavage et calcination du noir.

Lavage du noir.

Après avoir été soumis, soit à la fermentation, soit à un traitement par les alcalis à 100°, le noir est lavé avec une proportion d'eau plus ou moins forte destinée à enlever les matières dissoutes par ces traitements précédents. Toute machine à laver le noir doit satisfaire à la condition d'opérer ce lavage le plus complètement possible, en réduisant au minimum la

dépense en installation et en main-d'œuvre ainsi que la perte de matières; le lavage n'est complet que si le noir, agité dans une éprouvette avec 3 fois son poids d'eau, ne communique plus à l'eau aucun trouble. Il nous reste à voir jusqu'à quel point les dispositifs actuellement employés remplissent ces conditions.

Le procédé le plus simple est le lavage à la main. Le noir est versé dans une auge en bois plate, et retourné à la pelle sous l'eau jusqu'à ce que le liquide s'écoule entièrement limpide. Dans cette méthode, les frais d'installation comme le déchet de noir sont insignifiants, mais, par contre, le travail exige 6 journées d'ouvriers par 10,000 k^{os} de noir à traiter, et l'on emploie une quantité d'eau encore assez importante.

Aussi, a-t-on généralement adopté les laveurs mécaniques, qui n'exigent que 2 ouvriers pour la même quantité de noir et qui sont tous basés sur une circulation en sens contraire du noir et de l'eau, de façon à multiplier les contacts et à réaliser un travail plus complet avec une moindre dépense d'eau.

Les premiers laveurs employés étaient formés d'une auge semi-cylindrique légèrement inclinée, dans laquelle tournait une vis d'Archimède. Le mouvement de la vis faisait remonter le noir et le déversait à la partie de l'auge la plus élevée, pendant qu'un courant d'eau continu circulait en sens inverse.

Les appareils de ce genre peuvent traiter de 6000 à 7500 k^{os} de noir par 24 heures, mais ils donnent lieu à une perte de matière assez considérable.

Hoffmann a appliqué le même principe sous une autre forme. L'auge de l'appareil précédent est remplacée par un tambour garni intérieurement de palettes en hélice et animé d'un mouvement de rotation très-lent autour de son axe. Le noir est ainsi entrainé par les palettes et circule en sens contraire du mouvement de l'eau.

Cet appareil fournit par 24 heures de 7500 à 9000 k^{os} de noir. Il se prête moins bien au lavage du noir fin qu'à celui du noir en gros grains. Il offre en outre cet inconvénient qu'une partie notable du noir fin se trouve entrainée par

l'eau, et que les frottements y abîment les matières soumises au traitement. Il convient toutefois de reconnaître que, depuis,

l'appareil primitif a reçu de notables perfectionnements qui ont corrigé, au moins en partie, les défauts que nous venons de signaler.

M. Klusemann, auquel l'industrie du sucre doit déjà nombre de machines ingénieusement construites, a récemment disposé un laveur de noir, fig. 171, qui se recommande par sa simplicité, sa solidité et la perfection de son travail.

Ce laveur consiste en une caisse divisée, par des cloisons peu élevées, en compartiments $d\ d_1\ d_2$ dans lesquels se meuvent lentement des palettes $c\ c'$ montées sur des arbres $b\ b'$ et terminées par des lames flexibles en fer. Le noir tombe par la trémie a dans la partie la plus basse de la machine; il se trouve successivement remonté par les palettes d'un compartiment dans le suivant, soulevé chaque fois d'une faible hauteur, et arrive enfin à la partie supérieure d'où il sort en e complètement lavé. L'eau arrive par le tuyau f, passe à travers le noir que marche en sens inverse, et s'écoule en g. Le mouvement des arbres b est transmis par des roues dentées qui reçoivent elles-mêmes leur mouvement de la polie h.

L'appareil donne très-peu de déchet, n'absorbe que peu de force, et, comme il est entièrement construit en fer, n'exige pas de réparation. Son rendement est d'environ 15000 k$^{\text{mes}}$ par 24 heures. D'après ma propre expérience, cette machine est payée en une campagne par la réduction qu'elle amène dans la perte de noir fin, et je puis, en toute concience, la recommander comme la meilleure de celles qui existent jusqu'à ce jour.

Enfin, nous devons citer ici le laveur de noir de Cönner. Ce laveur se compose essentiellement d'un tamis animé d'un mouvement alternatif. Le noir qui tombe d'une trémie ménagée au-dessus de l'appareil se trouve ainsi poussé vers l'autre extrémité. De l'eau amenée par un tuyau spécial coule constamment sur le noir et tombe dans un réservoir inférieur muni d'un trop-plein. Cette machine dépense beaucoup d'eau, et bien que la perte de noir y soit assez faible, elle ne saurait soutenir la comparaison avec le dispositif précédent.

Tant à titre de contrôle que pour réduire les pertes de noir, dans tous les laveurs, l'eau sortant de l'appareil doit passer dans une ou plusieurs cuves où le noir fin entrainé se dépose. Ces dépôts traités par l'acide sulfurique constituent ensuite un engrais précieux.

Quand le noir n'a pas été traité par l'eau bouillante avant le lavage, il arrive souvent qu'au bout d'une heure il trouble un peu l'eau avec laquelle on l'agite. Ce fait prouverait qu'il est bon, surtout après la fermentation sèche, de maintenir le noir dans l'eau bouillante, puisque le traitement trop rapide à l'eau froide dans le laveur ne suffit pas pour enlever à lui seul toutes les matières organiques.

Calcination du noir.

Si, après les divers traitements que nous venons de décrire, le noir était complètement débarrassé de la totalité des matières organiques, sa revivification serait achevée, et on pourrait le réemployer immédiatement dans les filtres; mais il n'en est pas ainsi. Malgré les réactions chimiques auxquelles on a recours, une partie des substances organiques reste adhérente au noir, et on ne peut la détruire que par l'action d'une température élevée, par la calcination. Pour cela, il faut commencer par réchauffer et dessécher le noir sortant du lavage.

La vapeur offre le moyen le plus simple de chauffer le noir; non seulement elle élève sa température, mais, surtout à l'état de vapeur surchauffée, elle produit déjà une sorte de dessiccation.

Cette dernière opération s'achève d'habitude sur les tourailles ou soles dont sont munis les fours à revivifier et qui sont chauffées par les gaz de la combustion. Le noir est étalé en couche mince sur les soles, et fréquemment retourné à la pelle. Ce travail est loin de s'exécuter économiquement dans ces conditions au point de vue de la main-d'œuvre, et on préfère souvent opérer cette dessiccation dans un appareil spécial

formé d'un tambour conique tournant autour de son axe et chauffé, soit directement, soit par la chaleur perdue des fours. Dans les deux cas, les gaz de la combustion circulent autour de l'appareil qu'on fait tourner, soit à la main, soit mécaniquement, de façon à dessécher le noir
et qui, poussé par une hélice dans
soumis à une série de retournements
cette installation ne peut servir qu'à
ment à le calciner, comme on l'a s

Quelque soit le procédé empl
noir éprouve une dessiccation compl
de vapeur lorsqu'il arrive aux four
autrement, la calcination serait beaucoup plus difficile, et la présence de l'eau, sous l'action d'une température élevée, pourrait donner naissance à d'autres produits de décomposition qui rendraient le noir moins actif.

On emploie presque partout, et avec quelques modifications indiquées par l'usage, les fours à revivifier à cylindres verticaux imaginés par Schatten. La figure 172 représente une coupe par un plan vertical d'un appareil de ce genre muni d'une grille à gradins.

Le noir remplit les cylindres ou tuyaux verticaux *c c*, lesquels présentent une section elliptique, comme on le voit en *G*. Devant chaque cylindre est ménagé un dé en maçonnerie réfractaire *f*, qui le protège contre l'action directe des coups de feu. Comme dans tous les foyers avec grilles à gradins, le cendrier *C* est formé en avant par une porte en tôle. L'air nécessaire pour la combustion arrive en *o* et *p*, et, dans son trajet, refroidit la partie inférieure *s* des cylindres. Sur toute l'étendue du four règne une plaque en tôle *v* qui force l'air arrivant en *o* à passer autour des cylindres *s* en suivant la direction des flèches. De cette façon, les ouvriers qui travaillent en *E* sont complètement protégés contre le rayonnement de la chaleur. Des regards *t* permettent de nettoyer l'intervalle des cylindres et de retirer les cendres qui s'amoncèlent dans cette partie du four.

Fig. 172.

Les gaz de la combustion suivent la direction des flèches et, après avoir abandonné la majeure partie de leur chaleur aux cylindres *c*, passent sous une sole de grande surface où ils opèrent la dessiccation préalable du noir. Les gaz chauds, en arrivant à l'extrémité du four dans le carneau qui les dirige sur la cheminée, n'ont plus ainsi qu'une température de 150° environ. *E* est un espace libre qui permet de vider les cylindres lorsque la calcination du noir qui s'y trouve est complète. A cet effet, à des intervalles déterminés, (toutes les 15 ou 20 minutes), on ouvre les registres *s s*, on laisse écouler de chaque cylindre un certain volume (5 k^{es}) de noir, et on renferme le registre. Le noir descend dans le cylindre d'une hauteur correspondante à la quantité enlevée, et on recomplète la charge avec le noir qui s'est complètement desséché sur la sole disposée à l'arrière du four. De cette manière, le noir descend graduellement, et se trouve soumis à une température d'abord très-faible, mais qui va en augmentant lorsqu'il arrive vers le milieu de l'espace *D*; c'est là que s'effectue la calcination. Dans la partie inférieure des cylindres, au-dessus de la plaque *v*, le noir est refroidi par le contact de l'air extérieur qui arrive par le carneau *o*. Pour accélérer ce refroidissement, il convient de faire cette partie des cylindres en tôle plus mince, et, autant que possible, en fer blanc, pour éviter l'oxydation. Grâce à ce refroidissement, on évite de retirer le noir à une chaleur trop élevée qui, au contact de l'air, brûlerait au moins la surface et la blanchirait.

Les fours à calciner le noir ont reçu un grand nombre de dispositions différentes. Dans certaines installations, à l'intérieur de chacun des cylindres se trouve un noyau plein, de plus petit diamètre, formant noyau. Le noir n'occupe alors que l'espace annulaire compris entre les deux cylindres; la couche est ainsi rendue plus mince tout en conservant la même surface de chauffe, et la calcination s'effectue d'une manière plus rapide et plus uniforme. On peut par suite opérer des défournements plus fréquents et augmenter le rendement de l'appareil, tout en obtenant du noir de qualité meilleure.

On se borne souvent à mettre seulement 3 rangées de cylindres l'une derrière l'autre, au lieu de 4 ou 5; ce changement n'a pas grande importance. On pourrait tout au plus prétendre, pour justifier cette réduction, que les dernières files reçoivent moins de chaleur que celles du devant, mais cette objection n'est pas fondée, car la chaleur, étant concentrée dans un espace fermé, se répartit uniformément. Il est facile de s'en assurer, en plaçant, comme je l'ai fait souvent, un pyromètre de Gaunlett au milieu du noir dans les divers cylindres. De même, il est parfaitement inutile de disposer les cylindres en quinconce au lieu de les mettre en lignes parallèles comme le représente la figure. La seule conséquence de ce changement serait de rendre plus difficile l'extraction des cendres qui s'accumulent entre les tubes. Au contraire, la forme aplatie ou elliptique des cylindres présenterait les mêmes avantages que les noyaux ménagés dans leur milieu. Cette disposition moins coûteuse assure en effet de grandes surfaces chauffées pour de faibles épaisseurs de noir.

Siemens, dans la chimie de Musspratt, a proposé de suspendre dans le foyer deux cylindres de plus grande dimension, qui pourraient servir à la calcination des os. Les produits gazeux développés dans ces cylindres passeraient dans le foyer et diminueraient la dépense de combustible. Mais on peut se demander si, dans ces conditions les cylindres ne brûleraient pas souvent et s'il n'en résulterait pas de fréquents arrêts dans le travail.

Selon toute probabilité d'ailleurs, on pourrait très-bien consacrer un ou plusieurs des cylindres dans le dispositif ordinaire à calciner les os, et diriger les gaz par un tuyau spécial sur le foyer sans compliquer l'installation.

[En France, les fours les plus répandus aujourd'hui sont ceux de Schreiber et de Blaise.

Le four à noir de Schreiber, dont la figure 173 donne une vue d'ensemble se chauffe généralement au coke; le foyer est placé à la partie antérieure: les gaz de la combustion passent dabord dans un conduit central dans lequel ils se trouvent

séparés des cornues par des cloisons en terre réfractaire, et ce n'est qu'au retour qu'ils se trouvent en contact direct avec les cornues. Ces cornues sont en fonte; elles sont placées verticalement et disposées sur deux rangs à droite et à gauche du conduit central; elles sont ouvertes à leur partie supérieure et communiquent directement avec le toit du four qui est constitué par une plaque en fonte sur laquelle le noir est étendu et se sèche avant son admission dans les cornues. Des carneaux spéciaux ramènent sous cette plaque les gaz de la combustion après leur passage autour des cornues. Le défournement se fait au moyen d'un registre à la main du chauffeur; le noir tombe d'abord dans un tuyau d'attente relié obliquement à la cornue, et non chauffé; c'est là qu'il se refroidit. En faisant jouer un second registre le chauffeur détermine le défournement

définitif. Dans quelques installations récentes les rafraîchissoirs sont en communication directe et constante avec les cornues; le défournement s'opère au moyen d'un petit cylindre qui ferme le rafraîchissoir. et qui peut prendre, sur deux tourillons un mouvement complet de bascule dans lequel il abandonne tout le noir qu'il contient.

Le four Schreiber est bien conçu, il exige peu de main-d'œuvre et fonctionne régulièrement avec une économie notable de combustible.

Dans les fours Blaise on s'est préoccupé surtout de substituer la terre réfractaire émaillée à la fonte qui a l'inconvénient de brûler le noir. On répartit le noir dans une caisse
châleur perdue des foyers, où il se
ıs les tuyaux de calcination qui sont
ı terre émaillée et communiquent en
's en fonte. Le défournement se fait par une sorte de tiroir qui permet de vider toute une rangée de tubes à la fois.]

Après avoir ainsi décrit quelques-unes des dispositions de four les plus employées, il nous reste à parler de leur rendement.

Toutes les 20 minutes, on défourne 5 k^mes de noir par cylindre; chaque cylindre fournit donc 15 k^mes par heure, et l'on peut admettre 360 k^mes comme rendement moyen par journée de 24 heures. Si on travaille 50,000 k^mes de betteraves, il faut chaque jour 10,000 k^mes environ de noir revivifié; le four devra donc comporter environ 30 cylindres.

Pour la dessiccation et la calcination du noir,[1] on compte habituellement 2 k^mes de lignite ou 1 k^me de houille pour 7 ou 9 k^mes de noir. Le four Schreiber dépenserait 4 kilog. de bon coke par hectolitre de noir. Siemens indique qu'il a pu revivifier 5 tonnes de noir avec 1 tonne de tourbe de bonne qualité. Cette consommation dépend d'ailleurs beaucoup du point auquel on pousse la calcination. Les expériences que j'ai faites

1) La chaleur spécifique du noir, d'après Muaspratt, est 0,603.

sur le pouvoir décolorant de noirs calcinés à diverses températures m'ont prouvé que, pour obtenir des résultats certains, il ne fallait pas laisser la température de calcination descendre beaucoup au-dessous de 375°.

Dans ces essais, le noir était lavé après fermentation, et on a trouvé comme pouvoir décolorant

80	quand	il	était	chauffé	à 125°
90	-	-	-	-	- 204°
100	-	-	-	-	- 315°
110	-	-	-	-	- 425°

Ces chiffres donnent une idée assez exacte de la valeur relative des divers noirs, et montrent que celui dont la calcination s'est opéré à 425° a un pouvoir décolorant supérieur de 40 % environ à celui dont la température n'a atteint que 125°. Ce pouvoir décolorant est d'ailleurs plus permanent dans le noir fortement chauffé, et il est encore plus élevé au bout de 2 ou 3 jours qu'à la sortie du four pour le noir de raffinerie. Depuis que j'ai constaté ce résultat, j'ai fait opérer à la raffinerie de Smela la calcination à 375°, et cela avec le plus grand succès au point de vue de la qualité des produits fabriqués.

Il peut n'être pas sans intérêt de remarquer à ce propos que, dans ses recherches sur la calcination des os, M^r^ Violette n'obtint du charbon animal de couleur noire qu'à partir de 340°. Pour des températures inférieures, les produits de la calcination restaient bruns. La température de 340° parait donc, dans tous les cas, le degré minimum au-dessous duquel il convient de ne pas descendre. D'autre part, il importe de se tenir en garde contre une température trop élevée, car la densité du noir augmente rapidement avec cette température.

Pour déterminer les températures, je faisais usage d'un pyromètre de Gaunlett [1] muni d'un appareil enregistreur qui marquait automatiquement la température à chaque instant du jour. La figure 174 représente un des tracés obtenus de la sorte: à droite sont marquées les heures successives, tandis que

1) Cet instrument est construit par MM. Schæfer et Budenberg à Magdebourg.

Fig. 174.

les lignes verticales correspondent aux divers degrés de température. La bande de papier est fixée sur un rouleau qui fait une révolution en 24 heures. L'instrument trace lui-même la courbe, le crayon s'avançant vers la gauche quand la température augmente, revenant en arrière quand elle descend. A chaque défournement, le crayon indique un abaissement de température dû à l'introduction d'une charge de noir plus froid dans le cylindre. Pendant les 20 ou 25 minutes qui suivent, la température se relève et le crayon se déplace peu à peu. Les indications de l'instrument montrent que, suivant que le feu est plus ou moins bien conduit, le noir peut être calciné à des températures très-variables, et peut avoir par suite une action très-différente dans les filtres. A partir du moment, où fut installé cet instrument, le chauffeur, dont toute négligence était exactement contrôlée par le pyromètre, reçut l'ordre de ne jamais défourner le noir avant qu'il n'eût atteint au moins 315°. On arriva ainsi à un travail beaucoup plus régulier, comme l'indique le tracé de la figure 175, et, comme conséquence, on obtint à la filtration les résultats les plus satisfaisants. Aussi, cette méthode, qui n'exige qu'une très-faible dépense, devrait-elle être appliquée dans toutes les raffineries.

La température de 375° environ est regardée par beaucoup de fabricants comme trop élevée; on prétend que le charbon se tasse, durcit, perd de sa porosité, etc. De longues expériences pratiques m'ont prouvé qu'il n'en était rien. Je ne nie pas qu'une chaleur *trop forte* ne soit nuisible, et encore moins que, dans le mode habituel de travail, en ne tenant compte que du temps pour décharger les fours, en ne se guidant que sur la couleur de la tôle rougie, on ne surchauffe pas trop. Mais, selon moi, c'est une erreur que d'attribuer à un excès de température l'agglutination et l'aspect vitreux de certains noirs. Le noir ne se recouvre d'un enduit fusible que s'il est porté à une chaleur élevée en présence de certaines matières étrangères. Si donc cet accident arrive, la cause en est due aux principes tels que les silicates alcalins, qui fondent facilement et bouchent les pores du noir. Les incrustations ne sont

Fig. 175.

pas produites par le fait du four, mais par ce fait qu'avant calcination on n'a dépouillé qu'imparfaitement le noir de ces combinaisons. De même, la présence de 1 partie de sulfate de chaux à la calcination suffit pour faire perdre 4 parties de noir. Mais, si l'on a soin d'enlever au noir la silice et le sulfate de chaux par une ébullition dans le carbonate de soude suivie du traitement à l'acide chlorhydrique, les fours rendront des produits de bonne qualité.

Il peut être avantageux, immédiatement après la calcination et quand il n'est plus rouge, d'exposer le noir à l'air: il se refroidit plus vite, et absorbe de l'acide carbonique, ce qui, d'après Anthon, augmente ses qualités. Il ne parait pas nécessaire de le conserver dans des étuves fermées, car, en Russie, les plus grandes fabriques travaillent parfaitement sans étuves.

Si, après calcination, on lave le noir dans l'eau, celle-ci se charge de matières étrangères. Un second lavage à ce moment pourrait donc être utile.

Les déchets dus à la revivification du noir varient suivant la grosseur du grain, suivant le mode de traitement plus ou moins rationnel. On peut les évaluer de 1,2 à 2,5 %; comme le même noir revient aux filtres tous les 10 jours, la perte pour une campagne de 4 mois est par suite de 14,4 à 30 %. D'autres part, 50,000 k^{os} de betteraves exigeant 10,000 k^{os} de noir, la perte journalière de noir est de 150 à 300 k^{os}.

[M. Étienne a imaginé, pour la séparation du noir revivifié en catégories, un appareil dont le fonctionnement est au moins très-ingénieux: le noir tombe devant une série d'ouvertures rectangulaires qui communiquent avec une aspiration d'air. Cette aspiration est faite au-dessus de caisses dans lesquelles les grains se déposent par ordre suivant leur grosseur. Le noir trop fin est seul entraîné jusqu'au ventilateur à la sortie duquel il est abattu par de l'eau tombant en pluie très-fine.]

A mesure que les noirs deviennent plus vieux, leur densité va en augmentant, ainsi que nous l'avons vu; aussi, doit-on toujours les employer au volume et non au poids. Néanmoins, dans la pratique, on peut, sans grande erreur, compter l'hec-

tolitre pour 110 k°. Mais on se tromperait beaucoup, si on admettait que des volumes égaux de noir produisent le même effet, la mauvaise qualité étant compensée par un poids plus grand. Cela reviendrait en effet à tenir ce raisonnement évidemment faux: le pouvoir absorbant du noir est d'autant plus grand qu'il pèse plus, c'est-à-dire qu'il a absorbé plus de matières étrangères.

[D'après le Dr Wallace,[1] le poids du mètre cube de noir augmente beaucoup par le service, il peut même doubler; mais la *densité absolue* ne change pas sensiblement, elle varie entre 2,822 et 2,857. Ce fait s'explique d'ailleurs par le rétrécissement des pores à la suite de calcinations successives. Le noir vieux est en effet bien moins poreux que le noir neuf.]

Les frais de revivification pour 100 k° de noir représentent, amortissement et intérêt compris, de 0f,60 à 0f,95. Mais on ne doit pas oublier que cette dépense est insignifiante par rapport à l'augmentation du rendement en sucre qu'elle assure, et qu'on a toujours intérêt à n'employer que de très-bon noir.

Chapitre V.

Analyse du noir.

Teneur en chaux et en sulfate de chaux.

Le procédé le plus simple pour apprécier dans la pratique la valeur d'un noir est de déterminer son poids spécifique apparent. Comme on le sait, le noir neuf est plus léger; celui qui a déjà servi et qui n'a pas été complètement dépouillé des substances étrangères qu'il avait absorbées, qui n'a pas été complètement revivifié, est toujours plus dense. Si l'on compare des noirs de même grain, au même degré de dessiccation, on peut admettre que leur action sera en raison inverse de leur

---

1) Sucrerie indigène.

densité. On s'assure d'ailleurs que les noirs ont le même grain en les faisant passer sur deux tamis, dont l'un retient les parties grossières, et dont l'autre laisse passer les portions trop fines ou la farine.

En opérant sur des noirs de même grosseur et également secs, j'ai trouvé, pour des volumes égaux, les poids suivants:

Noir neuf de	232gr à 251,5gr
Noir de bonne qualité ayant peu servi .	285gr à 309gr
Noir de mauvaise qualité ayant servi . .	354gr à 355gr
Noir inerte	366gr à 369gr.

Les différences entre ces divers chiffres sont assez grandes pour qu'on puisse baser sur eux en jugement au moins approximatif de la valeur.

Postérieurement à la date de ces expériences, H. Schultz a publié, à Magdebourg, une série de recherches analogues et ses résultats confirment pleinement les conclusions ci-dessus.

Schultz a trouvé, pour 15 variétés différentes de noir vieux ayant servi et en grains, comme poids minimum d'un litre 904 grammes, comme maximum 1170 gr., pendant qu'un litre de noir neuf pesait seulement 769 grammes. Les résultats observés en Allemagne sont donc identiques à ceux que nous avions publiés sur le noir des fabriques de la Russie.

Si, au lieu d'opérer sur des quantités aussi faibles que les précédentes, on prend de grands volumes de noir, les différences deviennent plus sensibles: pour un hectolitre, elles peuvent atteindre 30 kos et plus.

On peut également opérer sur un poids connu de noir, 100gr par exemple, dont on mesure le volume dans une éprouvette graduée de 25mm de diamètre au moins, et divisée en centimètres cubes. Naturellement, le noir neuf occupe plus de volume, à poids égal, que celui qui, a déjà servi.

Ces divers procédés donnent une valeur, tout au moins approchée, de la proportion des matières étrangères retenues par le noir. Si l'on veut ensuite connaître plus exactement la nature de ces matières, savoir si elles sont formées par de la chaux, du sulfate de chaux etc., il faut recourir à un essai

plus approfondi, qui ne doit pas au reste se borner à une analyse chimique, mais dans lequel on doit tenir compte de la structure physique elle-même du noir. Il est effectivement probable que la calcination poussée trop loin produit un commencement de fusion, et bouche les pores en réduisant l'activité du noir. A ce titre, il est intéressant de comparer au microscope le noir vieux et le noir neuf, au point de vue de la structure. Mais cette étude exigerait de nombreux dessins, et sortirait des limites de cet ouvrage. Nous devons donc, malgré l'intérêt quelle présente, la laisser de côté.

Détermination de la chaux.

De toutes les matières qu'absorbe le noir, celles dont on s'est le plus occupé sont la chaux et le sulfate de chaux; aussi, a-t-on cherché à doser la teneur en chaux des noirs par une infinité de méthodes.

Cependant, ce dosage n'a qu'une importance secondaire, et ne peut guères servir qu'à apprécier la valeur d'un noir ayant déjà servi. Le fabricant, en dosant l'alcalinité des jus avant et après filtration, connait en effet déjà, par cela même, la proportion de chaux absorbée par le noir. D'ailleurs, dans les filtres, la chaux se dépose en plus forte quantité dans les couches supérieures que dans les suivantes; il est donc difficile de savoir à quel endroit il faut prélever l'échantillon de noir pour une analyse de chaux, ou dans quelle proportion il faut mélanger les échantillons pris à diverses hauteurs, pour avoir un résultat exact. L'incertitude qui provient de cette cause rend donc toujours plus ou moins illusoires les conséquences déduites d'un essai direct du noir.

Les analyses de noir ne peuvent être réellement utiles qu'après la campagne, lorsqu'on veut connaître la quantité définitive de chaux que cet agent a conservée. Dans ce cas, on doit prendre des échantillons sur les tas et en divers endroits,

de manière à avoir un résultat moyen. Mais, même dans ces conditions, on reste exposé à beaucoup plus d'erreurs que si l'on saturait la chaux dans le filtre même, ainsi que nous l'avons conseillé.

En résumé, nous regardons comme plus sûr et plus simple à la fois de déterminer la quantité de chaux enlevée aux jus par des dosages directs de leur alcalinité. Nous indiquerons toutefois, ne fût-ce qu'à cause de leur intérêt général, les méthodes employées pour l'analyse du noir au point de vue de la chaux.

Schatten avait déjà recommandé l'emploi de l'acide acétique étendu, qui dissout la chaux absorbée par le noir sans attaquer la matière terreuse des os. La chaux enlevée au noir passant dans les liquides à l'état d'acétate soluble, la densité de la dissolution augmente d'une quantité proportionnelle à la teneur en chaux.

Pour déduire de cette densité du liquide la quantité de chaux dissoute, il suffit d'opérer sur un poids constant de noir, avec un acide d'une densité connue. Schatten recommande d'opérer de la façon suivante: après avoir prélevé des échantillons de noir en divers endroits, on en prend 120 gr., qu'on réduit en poudre fine, et on verse dessus 240 grammes d'acide acétique étendu de manière à marquer 0° à son aréomètre. On agite le toute, et on le maintient à 75° jusqu'à ce que l'effervescence ait cessé. A ce moment, on laisse refroidir, on remplace l'acide qui s'est évaporé, et on filtre. La liqueur incolore est alors essayée à l'aréomètre de Schatten. Le degré d'affleurement donne directement la quantité de carbonate de chaux contenue dans 100 p. du noir analysé. D'après Otto, le zéro de la division correspond, à la température de 17°,5, à un poids spécifique de 1,0115, soit 3% Balling, et la division 14 à 15% Balling. Otto est parti de là pour calculer la table suivante qui permet d'opérer le dosage en se servant simplement des aréomètres ordinaires.

Degrés Balling.	Degrés Baumé.	Degrés Schatten.	Degrés Balling.	Degrés Baumé.	Degrés Schatten.
4	2,25	1,2	10	5,56	8,2
4,5	2,50	1,7	10,5	5,80	8,7
5	2,78	2,3	11	6,11	9,3
5,5	3,05	2,9	11,5	6,40	9,9
6	3,34	3,5	12	6,66	10,5
6,5	3,70	4.1	12,5	6,95	11,1
7	3,89	4,7	13	7,22	11,7
7,5	4,20	5,2	13,5	7,50	12,2
8	4,45	5,8	14	7,77	12,8
8,5	4,72	6,4	14,5	8,05	13,4
9	5,00	7	15	8,32	14
9,5	5,25	7,6	—	—	—

Dans ces essais, la durée de l'action de l'acide exerce une grande influence; aussi conseillerai-je de la maintenir constante dans toutes les analyses, de la fixer, par exemple, à 15 minutes. D'un autre côté, lorsque la proportion de chaux est assez forte, il convient, en conservant la même dose d'acide, de n'opérer que sur la moitié de la quantité de noir fin indiquée plus haut, (60 grammes au lieu de 120), et de multiplier le résultat par 2. Il pourrait arriver en effet, si on ne prenait cette précaution, que la totalité de la chaux ne pût pas se dissoudre assez vite dans l'acide. Enfin, la détermination de la densité ou la lecture aréométrique doit se faire à 17°,5, si l'on veut que ces indications soient exactes. Dans la pratique, où les essais doivent être aussi rapides que possible, cette condition crée souvent des difficultés. Pour y obvier, on a dressé la table de correction ci-après, qui donne, pour chaque température jusqu'à 35°, les quantités qu'il faut ajouter ou retrancher au chiffre donné par l'aréomètre pour avoir le chiffre exact de la teneur en chaux.

Table de correction.[1]

Température.	Correction de la teneur en chaux.	Température.	Correction de la teneur en chaux.
12°	— 3/8 %	24°	+ 1/4 %
13°	— 1/4 %	25°	+ 3/8 %
14°	— 1/4 %	26°	+ 3/8 %
15°	— 1/4 %	27°	+ 1/2 %
16°	— 1/8 %	28°	+ 5/8 %
17°	0 %	29°	+ 3/4 %
18°	0 %	30°	+ 7/8 %
19°	0 %	31°	+1 %
20°	+ 1/8 %	32°	+1 1/8 %
21°	+ 1/8 %	33°	+1 1/4 %
22°	+ 1/8 %	34°	+1 3/8 %
23°	+ 1/4 %	35°	+1 1/2 %

La méthode de Schatten donne la quantité totale de carbonate de chaux existant dans le noir, mais ce noir contient lui-même comme élément constitutif du carbonate de chaux (3 à 5 %); il y a donc lieu de défalquer cette quantité, pour trouver la proportion de chaux réellement absorbée à la filtration. Le moyen le plus facile et le plns sûr, pour déterminer le chaux constitutive du noir, est de soumettre à un essai analogue et comparatif du noir neuf. Supposons, par exemple, qu'on trouve ainsi 3 % de chaux, et que l'essai du noir vieux ait donné 6 %; l'excédant de ce dernier sera de 3 %, et ce chiffre représentera la quantité de chaux qu'il faut éliminer par le traitement à l'acide chlorhydrique.

Mais, d'après les recherches d'Otto, dans la méthode de Schatten, l'acide acétique dissout, non seulement le carbonate de chaux, mais encore une partie du phosphate de chaux du noir. La liqueur filtrée donne effectivement par l'ammoniaque un fort précipité de phosphate de chaux. Les résultats seraient donc nécessairement entachés d'erreur.

---

1) Le signe — indique que la correction doit être retranchée, le signe + ajoutée, à la teneur d'après l'aréomètre.

En partant de là, Otto a proposé un procédé spécial d'analyse très-rapide, et qui donne uniquement la quantité de chaux qu'il faut éliminer du noir. Il emploie à cet effet de l'acide chlorhydrique étendu, d'une teneur connue, qu'il verse peu à peu sur le noir jusqu'à ce que la réaction acide indique qu'on en a ajouté un léger excès. Otto a constaté expérimentalement qu'à une température voisine de l'ébullition, l'acide chlorhydrique étendu dissout très-vite et très-facilement la chaux absorbée, de façon à donner une liqueur neutre, et qu'il ne se dissout pas trace de phosphate de chaux tant qu'on n'a pas employé un excès d'acide. Dans ces conditions, l'essai donne donc directement la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour le traitement.

Dans ces essais, on doit employer de l'acide chlorhydrique à la densité de 1,0177; il marque 4,5 % Balling (2°,5 Baumé), contient 3,6 % d'acide pur, et 10^{cc} de ce liquide neutralisent exactement $0^{gr},5$ de carbonate de chaux. On remplit avec ce liquide une burette de Mohr, à fermeture de caoutchouc, on fait couler chaque fois 5^{cc} d'acide sur le noir à analyser, en agitant vivement. On opère sur 50 grammes de noir en poudre que l'on chauffe à 100° dans un ballon avec 150^{gr} d'eau additionnée d'un peu de la liqueur acide. Au bout de quelques instants, on éloigne le ballon de la lampe à alcool, et on essaie le liquide avec un morceau de papier de tournesol bleu. S'il conserve sa couleur, c'est-à-dire si l'acide n'est pas en excès, on ajoute à nouveau 5^{cc} de la solution acide, et on porte encore à l'ébullition en agitant constamment. On recommence l'essai au papier de tournesol, et on continue ainsi jusqu'à ce que le papier prenne une coloration rouge bien franche caractéristique d'un excès d'acide. Le point de saturation n'est pas déterminé dans ces conditions d'une façon rigoureuse, mais l'approximation qu'on obtient est parfaitement suffisante pour la pratique.

L'opération terminée, on lit le nombre de centim. cubes d'acide employés et, comme chacun d'eux correspond à $0^{gr},05$ de carbonate de chaux ou à 0,1 % de ce sel si l'on opère sur 50^{gr} de noir, il est facile d'en déduire la teneur en chaux. On

peut d'ailleurs se dispenser de ce calcul, et déterminer immédiatement la quantité d'acide du commerce nécessaire pour le traitement d'un poids donné de noir.

Pour s'assurer qu'on n'a pas versé un excès d'acide, il suffit de filtrer une petite quantité de la liqueur, et d'y ajouter quelques gouttes d'ammoniaque. S'il se forme un précipité gélatineux, c'est qu'on a employé trop d'acide, si au contraire, le liquide reste clair ou s'il ne s'y forme que quelques flocons, c'est que le phosphate de chaux n'est pas encore dissout, ou ne l'est qu'en quantité insignifiante. Les éléments constitutifs du noir ne sont donc pas altérés, si l'on n'emploie pas un excès d'acide.

Supposons qu'on ait dû employer dans l'essai, 30^{cc} de la liqueur acide, correspondant à 3 % de chaux, il faudrait, à la revivification, ajouter au noir au moins la même proportion d'acide, mais, pour être assuré d'une élimination complète de la chaux, il conviendra de prendre 2 fois ou 2 fois et demie cette dose. (Otto).

Un autre procédé d'analyse très-simple, mais beaucoup moins exact, consiste à traiter un poids connu de noir desséché avec le double d'acide acétique ou d'acide chlorhydrique étendu marquant 4 % Balling; on agite de temps en temps, et, au bout de 24 heures d'action à la température ordinaire, on lave le noir, on le dessèche, et on le pèse de nouveau. La différence représente le carbonate et le phosphate de chaux dissous par l'acide.

La chaux absorbée se trouve, dans le noir, surtout à l'état de carbonate; aussi, la dose-t-on souvent d'après la quantité d'acide carbonique qui se dégage, 22 p. d'acide carbonique correspondant à 50 p. de carbonate de chaux. Pour plus de sureté, on humecte généralement le noir pulvérisé qu'on veut essayer avec du carbonate d'ammoniaque, de façon à transformer en carbonate la chaux qui pourrait se trouver dans le noir à l'état libre. On dessèche ensuite soigneusement le noir pour volatiliser l'excès de sel ammoniacal.

Il suffit alors de placer un poids connu de noir dans un ballon et de le traiter par un acide énergique; l'acide carbonique est mis en liberté et peut être recueilli directement, ou dosé par la différence de poids.

Otto recommande pour cette opération l'appareil suivant: On dispose dans un ballon 10 gr. de noir préparé comme plus haut, avec un peu d'eau, puis on ferme le ballon par un bouchon dans lequel viennent s'engager, d'un côté un tube en *U*, de l'autre un tube recourbé plongeant dans une éprouvette fermée. Dans le tube en *U*, se trouve du chlorure de calcium, destiné à retenir l'humidité. Le second tube plonge dans de l'acide chlorhydrique moyennement concentré (à la densité de 1,2). L'éprouvette est fermée par un bouchon où sont ménagés quelques trous pour l'accès de l'air. On pèse avec soin l'appareil, puis, en aspirant à l'extrémité du tube en *U*, on fait remonter l'acide de l'éprouvette dans le ballon. L'acide carbonique se dégage et traverse le tube en *U* en se dépouillant de la petite quantité d'eau qu'il aurait pu entrainer. En agitant avec précaution l'appareil, on assure le contact intime du noir avec l'acide, et on active ainsi le dégagement du gaz carbonique. Quand tout l'acide est dégagé, on chauffe lentement le ballon et son contenu presque jusqu'à l'ébullition, en partie pour rendre l'action de l'acide plus complète à cette température élevée, en partie aussi pour chasser complètement l'acide carbonique du liquide. On laisse ensuite l'appareil se refroidir, on le pèse à la même température qu'au début, la perte de poids représente l'acide carbonique dégagé.

Supposons qu'en opérant sur 10 gr. de noir, on trouve une perte de $0^{g},2$. 100 p. de noir auraient perdu 2 p. d'acide carbonique, et, comme 22 de ce dernier gaz représentent 50 de carbonate de chaux, on en conclut que le noir contenait 4,5 % de carbonate de chaux.

Ce chiffre ainsi déterminé donne la quantité totale de carbonate de chaux contenue dans le noir; si l'on admet que le noir neuf en renferme déjà 4 %, on voit qu'il n'en reste qu'un excès assez faible à éliminer dans le traitement à l'acide chlorhydrique.

Dans l'appareil que nous venons de décrire, on opère sur des différences de poids très-petites; l'essai exige donc beaucoup de soin, et les pesées une grande précision. Le poids de l'acide carbonique ne représentant pas la moitié de celui du carbonate de chaux, toutes les erreurs que l'on commet se trouvent multipliées par le rapport de 22 à 50. Aussi, passerai-je sous silence tous les autres appareils basés sur le même principe des pesées, pour me borner à exposer ceux dans lesquels on mesure le volume du gaz acide carbonique dégagé. Comme un très-petit poids correspond à un grand volume, il est clair que les appareils de cette nature doivent donner des résultats plus exacts que les précédents.

Dans son traité d'analyse par les liqueurs titrées, Mohr indique, comme moyenne de 7 expériences, que la quantité d'acide carbonique fournie par 2 gr. de carbonate de chaux peut déplacer 476^{cc},1 d'eau soit 23^{cc},8 pour 0^{gr},1. On voit par là combien est sensible la méthode volumétrique. Pour ces dosages, on emploie l'appareil représenté dans la figure 176; il se compose de deux parties, l'une pour effectuer la réaction, l'autre pour mesurer le volume du gaz.

Cette dernière est formée par un vase de Woulf d'une capacité de 2 à 3 litres, et muni à la partie inférieure d'une tubulure. Sur le col du haut est adapté un entonnoir dont l'extrémité émaillée descend tout près du fond du vase. Sur la troisième tubulure est le tube qui communique avec le ballon à réaction. Enfin, l'eau de flacon est recouverte d'une légère couche d'huile. Le gaz acide carbonique arrivant dans le flacon de Woulf exerce une pression sur l'eau et la force à sortir par le tube en verre ajouté sur la tubulure inférieure. La quantité d'eau ainsi déplacée est mesurée, soit dans une vase gradué qui la reçoit, soit à l'aide d'une pipette.

Le vase où s'opère le dégagement d'acide carbonique est un ballon *A* à large col muni d'un bouchon dans lequel passe un petit tube de verre. Un petit récipient *s*, en verre ou en gutta percha, est destiné à recevoir l'acide chlorhydrique à la densité 1,12. On prend l'échantillon de noir en poudre bien

desséché, on le pèse exactement, et on le verse dans le vase *A*. Puis, on introduit avec précaution le petit cylindre *s* à moitié rempli d'acide et on ferme l'appareil avec le bouchon garni de lut. A ce moment, on soulève le vase *A* et, en le

Fig. 176.

tenant par le col, on l'incline peu à peu de façon que l'acide coule au dehors de *s*. De temps en temps on agite l'appareil pour rendre aussi intime que possible le contact entre le noir et l'acide chlorhydrique. L'acide carbonique qui se dégage passe par le tube en caoutchouc *r* dans une vessie *k* disposée à l'intérieur du flacon *B*. Cette vessie, qui se fait en caoutchouc très-mince, est destinée à empêcher que l'acide carbonique ne se trouve en contact avec l'eau qui pourrait en absorber une partie et fausser les résultats de l'analyse. Dans le même but, on a soin d'un autre côté, de laisser sur l'eau, dans le vase *C*, une couche mince d'huile. L'air qui se trouvait

confiné dans l'espace *B* se trouve déplacé par l'acide carbonique et se rend, par le tuyau *u*, dans le vase *C* au-dessus de la couche liquide qui, déplacée à son tour, passe par le tuyau *m* dans le récipient *n* divisé en volumes égaux dont chacun équivaut à 1 % de chaux. Il suffit donc d'une lecture sur les parois de *n* pour connaître immédiatement le taux % de chaux que renfermait le noir. En *B* se trouve d'ailleurs un thermomètre qui permet d'enregistrer les températures.

La détermination de la teneur en chaux d'un noir donné se fait, à l'aide de cet appareil, d'une façon à la fois simple et rapide. On peut d'ailleurs graduer soi-même sans difficulté le vase de jauge *n* en partant de ce fait qu'un volume d'eau déplacée de 23,8 cent. cubes correspond à $0^{gr},10$ de carbonate de chaux. Si donc, par exemple, 5 grammes de noir ont déterminé l'écoulement de 119 cent. cubes d'eau, il en résulte que le noir contient 10 % de carbonate de chaux soit $0^{gr},50$.

L'appareil que nous venons de décrire est préférable à celui de Scheibler, car on peut y opérer sur 10 ou 20 gr. de noir, tandis que le dispositif de Scheibler ne permet pas de dépasser 1 gr. ½ ou 2 grammes. La faculté d'opérer sur des doses plus fortes permet d'obtenir des résultats plus exacts et réduit l'influence des erreurs d'observation que l'on peut commettre. Avec l'appareil de Scheibler, la moindre inattention peut compromettre le succès de l'analyse, tandis qu'il n'en est pas de même ici.

Quant aux autres méthodes qu'on a proposées pour doser la chaux dans les noirs, telles que l'analyse directe, la méthode acidimétrique, etc., elles ne me paraissent satisfaire que médiocrement aux exigences de la pratique, et je crois dès-lors inutile de m'y arrêter.

[Nous terminerons ces considérations sur l'analyse des noirs en donnant d'après le Dr Wallace [1] la composition d'un bon noir sec:

---

1) The sugar cane.

Matière charbonneuse	11,0
Phosphate de chaux, magnésie. . .	80,0
Carbonate de chaux	8,0
Sulfate de chaux	0,2
Sels alcalins	0,4
Oxyde de fer	0,1
Acide silicique	0,3
	100,0

Le charbon d'un noir de bonne qualité est toujours franchement azoté; on trouve de 1 à 1,5 % d'azote dans les noirs neufs; cette proportion descend au-dessous de 0,5 % dans les noirs vieux.

Signalons enfin que l'accumulation du fer dans le noir qui a beaucoup servi est un fait évident et digne d'appeler l'attention sur la nécessité d'éviter aux jus et aux sirops le contact du fer dans les appareils qui doivent toujours être enduits d'une couche de peinture ou de toute autre substance isolante. —]

Chapitre VI.

Traitement du noir par la mélasse.

Le traitement par la mélasse a pour but d'enlever au noir la chaux que lui ont cédée les jus à la filtration. La mélasse contient en effet, comme on le sait, une notable proportion de sucre, qui, par la fermentation, se transforme, soit en acide lactique, soit en alcool puis en acide acétique, acides qui peuvent dissoudre la chaux.

La quantité d'acide acétique que donne la mélasse est équivalente, dans le cas le plus favorable, à la quantité d'alcool qu'elle pourrait fournir ou plutôt à la dose de sucre qu'elle renferme. La proportion de mélasse qu'on doit employer dépend donc essentiellement de sa qualité. Si une mélasse contient, par exemple, 40 % de sucre, elle pourra, dans les meilleures conditions, donner 20 % d'alcool, ou 22 % d'acide acétique,

mais, dans la pratique, on n'arrive pas à un rendement aussi élevé. On peut admettre, comme maximum, 20 % d'acide acétique, qui représentent comme effet utile de 32 à 37 d'acide chlorhydrique du commerce. Chaque kilogramme de sucre dans la mélasse pourrait donc remplacer $0^k,8$ à $0^k,9$ d'acide chlorhydrique, toutes les autres conditions égales d'ailleurs. 100 k^{mes} de mélasse à 40 % de sucre représentent par suite 32 k^{es} d'acide chlorhydrique. Si ce dernier revient à $7^f,50$ les % k^{es}, on voit que cette utilisation de la mélasse en ferait ressortir la valeur à $2^f,40$ % k^{es} tandis que cette matière à généralement une valeur beaucoup plus élevée. Mais, dans certains pays où l'acide chlorhydrique coûte beaucoup plus cher, l'emploi de la mélasse pour le traitement du noir peut être parfaitement justifié. Ainsi, en Russie, l'acide chlorhydrique revient à 2 roubles 70 kop. par nydr. (52^f % k^{es}), tandis que la mélasse à 70% de sucre ne se vend que le 5e de ce prix. On voit que l'économie est considérable. Dans la pratique, on admet que 4 k^{es} de mélasse représentent 1 k^{me} d'acide chlorhydrique. Les dépenses dans les deux cas sont donc:

1 nydr. (20 k^{es}) d'acide chlorhydrique pour 2 roubles 70 kop.
4 - (80 -) de mélasse pour . . . 2 - 38 -

Même dans ces proportions, l'emploi de la mélasse offre encore un avantage très-sensible. Bien que ces conditions soient exceptionelles, un traité de la fabrication du sucre doit, autant que possible, étudier les conditions du travail dans chaque contrée, et, à ce titre, nous traiterons cette question d'emploi de la mélasse d'un façon un peu détaillée.

La mélasse renferme des alcalis qui s'opposeraient à la fermentation, et qu'on doit neutraliser par l'acide chlorhydrique. On développe ensuite le travail alcoolique, soit en mélangeant directement les matières avec de la mélasse déjà en cours de fermentation, soit encore, en arrosant d'abord avec ces matières une partie du noir à revivifier. La fermentation se développe en 12 ou 24 heures à la température de 32°. La présence du noir accélère d'ailleurs ce mouvement, en offrant de très-grandes surfaces par lesquelles la mélasse se trouve en contact avec

beaucoup d'air. Le liquide ne doit pas s'élever au-dessus du noir, car c'est dans la partie supérieure du bain qu'il se forme le plus d'acide acétique et que, par suite, l'élimination de la chaux peut être le plus active. Du reste, dans la pratique, on ne saurait jamais échapper complètement à cette inégalité dans l'action sur le noir, et il est bon, soit de déplacer fréquemment le liquide avec une pompe, soit de faire arriver de l'air dans les couches inférieures. On peut aussi, et c'est le procédé le meilleur, faire comme dans les distilleries d'alcool, transformer le sucre et produire la fermentation dans des cuves spéciales. On reprend ensuite le liquide alcoolique ainsi obtenu pour le verser sur le noir, en ayant soin de le mettre en contact avec l'air sur la plus grande surface possible, de manière à faciliter la formation de l'acide acétique. On pourrait d'ailleurs employer à cet effet des cuves analogues à celles dont on se sert pour fabriquer le vinaigre, en remplaçant les copeaux par du noir à purifier. En séparant ainsi les deux fermentations alcoolique et lactique, on éviterait de souiller le noir avec le dépôt qui se forme dans le premier de ces travaux. D'autre part, il suffirait dans ce cas de 1 ou 2 jours pour que l'élimination de la chaux fût complète, et cette économie de temps a une grande importance dans le cours de la campagne.

La quantité de mélasse à employer se détermine naturellement par la proportion de chaux qu'on veut enlever au noir. Supposons qu'on ait 100 k^{os} de noir contenant 10 % de chaux, sur lesquels on veut enlever (10 — 4) ou 6 k^{os} de chaux. Cette quantité exigerait 12 k^{os} d'acide chlorhydrique qui correspondent à 4 × 12 soit 48 ou 60 k^{os} de mélasse. Au contraire, si le noir ne contenait que 5 % de chaux, la quantité à éliminer n'étant plus que de (5 — 4) ou 1 k^{o}, il suffirait d'employer 8 ou 10 k^{os} de mélasse.

La mélasse qu'on emploie d'habitude marque de 16 à 22 % Balling (9 à 12° Baumé). Plus elle est étendue, plus la fermentation est prompte et énergique; plus elle est concentrée, et plus le travail alcoolique est lent, à températures égales.

La mélasse provenant de la fabrication pèse environ 39° Baumé, (73 % Balling); pour la ramener à 18 % Balling, il faut lui ajouter 3 fois son volume d'eau, et la dissolution que l'on obtient ainsi est plus que suffisante pour remplir les vides d'un poids égal de noir. Si donc on a à traiter 100 k^os de noir, on devra lui ajouter 100 k^os de dissolution allongée de mélasse correspondant à 25 k^os de mélasse normale. Chaque traitement pourra par suite dissoudre 2½ % de chaux. Dès lors, lorsqu'on aura à enlever au noir 6 % de chaux ou plus, il faudra répéter l'opération au moins trois fois, en comptant pour chaque traitement 2½ % de chaux éliminée.

Si, au contraire, la proportion de chaux à enlever était moindre que 2½ %, il faudrait réduire en conséquence la concentration de la mélasse employée.

Jusqu'ici, nous n'avons parlé que de la fermentation alcoolique proprement dite, dont les produits sont en première ligne l'acide carbonique et l'alcool, ce dernier se transformant ensuite en acide acétique. Il nous reste à étudier les fermentations à température plus élevée, dont les produits sont l'acide carbonique, l'hydrogène, la mannite, l'acide lactique et des gommes.

"A des températures plus élevées, (de 37 à 48°), le phénomène de la destruction de la molécule sucre change entièrement. On observe un dégagement de gaz beaucoup plus faible, il ne se produit plus d'alcool. La fermentation achevée, si on analyse le liquide, on ne retrouve plus trace du sucre qu'il renfermait au début. Ses éléments ont donné naissance à une forte quantité d'acide lactique, et, à côté, à une matière complètement identique à la gomme arabique. Enfin, le produit le plus remarquable est une substance cristalline dont les propriétés et la composition représentent exactement le principe doux de la manne." (Liebig, p. 161.)

Dans ce mode de fermentation, on peut employer des dissolutions de mélasse plus concentrées, marquant 27 % Balling, (15° Baumé). Il ne se produit pas alors d'atténuation, comme dans le travail alcoolique. La densité de la liqueur s'affaiblit

bien, au bout de quelques jours, de 1 ou 2°, mais cette densité augmente après, par suite de la dissolution du lactate de chaux, et il arrive souvent que la liqueur, à la fin de l'opération, marque un degré plus élevé qu'au début. Ce mode de fermentation a été appliqué comme l'autre pour enlever au noir la chaux qu'il renferme. On se fondait surtout sur ce que l'acide lactique peut décomposer également le sulfate de chaux que contient le noir, et c'est une propriété qui, dans certains cas, peut avoir son importance. Pour le reste, la fermentation lactique ne parait pas supérieure à l'ancienne méthode. Dans les deux cas, le sucre se transforme en acides qui s'emparent de la chaux. Avec la fermentation ordinaire, on a seulement à veiller à ce qu'il ne se produise pas de décomposition putride, et que les liquides conservent un goût droit. Dans la fermentation lactique, (et surtout à basse température), il se forme de la mannite en quantité souvent si considérable que les cristaux blancs de cette substance agglomèrent le noir et qu'on est ensuite obligé de briser la masse de noir à l'aide de pinces ou de haches.

En dehors de ces inconvénients inhérents à l'emploi de la mélasse, il faut noter que cette matière desséchée, à côté de 35 à 50 % de sucre, renferme 10 % environ de matières azotées, 20 à 32 % d'autres corps organiques, et enfin 8 à 9 % de sels minéraux, principalement de sels alcalins. Naturellement, pendant que la chaux s'élimine, le noir absorbe une certaine proportion de ces matières que renferme la dissolution fermentée ou en fermentation, et cette proportion varie suivant la durée du contact. On en a d'ailleurs la preuve dans ce fait que la mélasse se décolore en partie, et aussi que le noir, après traitement, est notablement plus dense qu'il ne devrait l'être pour une teneur en chaux donnée.

Les alcalis qu'absorbe ainsi le noir contribuent, tout autant que les matières organiques, à réduire sa valeur. Le noir revivifié par la mélasse possède bien en pouvoir décolorant extraordinaire, mais les jus qu'il donne, si clairs qu'ils soient, éprouvent à la cuite une altération partielle, et ils donnent des masses cuites toujours plus ou moins visqueuses. La calcination

du noir traité par la mélasse a eu en effet pour résultat de mettre les alcalis en liberté, et ces principes, repassant en partie dans les jus filtrés, agissent sur le sucre, et surtout à chaud, comme éléments de décomposition. Si donc on veut éviter cette perte en sucre cristallisable, il parait indispensable de débarrasser le noir des alcalis qu'il a empruntés à la mélasse, par des lavages à l'eau et un traitement à l'acide chlorhydrique.

On pourrait du reste, au lieu de suivre pour l'élimination de la chaux la méthode indiquée plus haut, soumettre d'abord la mélasse simplement à la fermentation alcoolique, la distiller, et déterminer la transformation de la partie distillée en acide acétique, en présence du noir. De cette façon, on se mettrait à l'abri de l'absorption par le noir des diverses matières que renferme la mélasse. — Les indications suivantes permettront d'apprécier le prix de revient de cette méthode.

Une fabrique travaillant 300 Berkobetz ou 60,000 k^{os} de betteraves par jour, emploie, à raison de 20 %, 600 nydr. ou 12,000 k^{os} de noir. D'autre part, les jus produits représentent à 90 %, 54,000 k^{os} dont l'alcalinité peut toujours être réduite, par la carbonatation à 0,5 ou 0,6 %. Après filtration, l'alcalinité du jus ne doit plus être que de 0,3 à 0,4. On voit que le noir doit absorber au plus 0,2 % de chaux et d'alcalis. Dans le cas actuel, cette proportion représente par jour (540 × 0,2) ou 108 k^{mos} de sels alcalins, dont l'élimination exigera 160 k^{os} d'acide acétique. Or, 200 k^{os} de sucre représentent 100 k^{os} d'alcool qui fournissent 111 k^{os} d'acide acétique. Il faudra donc employer journellement 300 k^{os} de sucre ou 750 k^{os} de mélasse (à 40 %). Cette mélasse ramenée à 18 % Balling donnera comme liqueur fermentescible 3000 k^{os}. Maintenant, pour distiller 3000 k^{os}, il suffit de 1000 k^{os} (50 nydr.) de bois ou d'une quantité équivalente de tout autre combustible. Or, en Russie, 1000 k^{mos} de bois ne coutent que 3 roubles. Le fabricant forcé par les conditions locales à employer la mélasse pour le traitement du noir aurait donc intérêt à suivre la méthode par distillation. Il obtiendrait ainsi, moyennant un faible supplément de dépense, des jus beaucoup plus purs.

Toutefois, dans le calcul qui précède, nous n'avons pas tenu compte des frais de main-d'œuvre etc., qu'exige nécessairement le traitement du noir par la mélasse, puisqu'il se fait habituellement pendant l'été, tandis que le traitement à l'acide chlorhydrique, s'opérant pendant le cours même de la campagne, n'entraine pour ainsi dire pas de dépense spéciale. Les expériences pratiques faites en Russie, le seul pays d'ailleurs où elles puissent offrir de l'intérêt, prouvent que le traitement du noir par la mélasse revient à peu près à 20 kop. par nydr., soit sensiblement le prix que couterait la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour éliminer la totalité de la chaux. Ce prix de revient élevé doit être pris en sérieuse considération, et prouve que le fabricant doit faire son calcul avec soin, et bien s'assurer s'il ne trouverait pas, pour le sucre des mélasses, un emploi plus avantageux que le traitement du noir.

Livre VII.

RAFFINAGE DU SUCRE.

Chapitre I.

Clarification, filtration, cuite et travail des emplis.

Le sucre brut, tel qu'on le retire, soit des betteraves, soit de la canne, contient encore un certain nombre de corps étrangers, qui préexistaient dans le suc de la plante elle-même, ou qui ont dû lui être ajoutés pendant la fabrication, comme la chaux, pour arriver à obtenir le sucre sous forme de cristaux. Le raffinage a pour but d'éliminer toutes ces matières étrangères. La valeur du sucre brut dépend toujours de la nature et de la proportion des principes autres que le sucre qu'il renferme. Il est donc très-important, pour le raffineur, de connaître la composition des produits qu'il achète et cette analyse peut se faire très-facilement avec le polarimètre. Dans la méthode de Ventzke, par exemple, une dissolution de sucre pur à la densité 1,100 donne à l'instrument 100 % de sucre. Le sucre impur ou sucre brut accusera un degré d'autant moins élevé qu'il renfermera plus de corps étrangers.

Les matières qu'on trouve ainsi unies au sucre sont habituellement: de l'eau, des matières colorantes, des principes gommeux, des restes de substances organiques et une partie des sels solubles minéraux (potasse, soude, etc.), que la betterave emprunte au sol et qui sont restés dans le jus pendant toute la série des traitements de fabrication. Le sable et la terre, qu'on rencontre quelquefois dans les échantillons, doivent être considérés comme accidentels. Ces dernières matières, dans une dissolution peu concentrée de sucre, se déposent au fond et se séparent ainsi facilement.

Quant à la petite proportion d'éléments organiques, on la détermine approximativement par les moyens indiqués dans le cours de cet ouvrage. L'incinération fournit des résultats comparables sur la teneur plus ou moins grande des échantillons en sels. Enfin, l'eau n'a d'autre inconvénient que de réduire le poids de sucre dans un échantillon.

Dans la pratique, on cherche à éliminer ces diverses matières par les opérations de la clarification, de la filtration, de la cuite (ou cristallisation) et du terrage.

La clarification a pour but de dissoudre le sucre brut et d'en éliminer mécaniquement une partie des matières étrangères, en ajoutant à la liqueur du sang qui se coagule et donne naissance à des dépôts volumineux faciles à séparer. La matière active du sang, pour ce travail, est simplement l'albumine, qui se coagule à une température élevée (au-dessus de 75°). Aussi, peut-on employer également pour la clarification, soit le blanc d'œuf, qui contient 61 % d'albumine, soit toute autre matière analogue. Malheureusement, tous ces corps introduisent, en même temps que l'albumine, dans la dissolution sucrée, des principes étrangers, des sels notamment, qui sont loin de contribuer à l'épuration des liqueurs.

Le blanc d'œuf représente environ 12 % du poids de l'œuf. Sa teneur en cendres est de 6 % dans, lesquels figurent du chorure de potassium, du carbonate de soude, du chlorure de sodium et d'autres sels.

Le sang des animaux contient:

Eau	78,300
Fibrine	0,260
Albumine	6,500
Globules du sang	13,130
Graisse	0,300
Elaïne	0,180
Matières extractives	0,350
Sels alcalins	0,800
Sels terreux et oxyde de fer	0,180
Total	100,000

Le sang desséché donne environ 4,42 % de cendres, dans lesquelles le chlorure de sodium entre pour 50 %, le phosphate et le carbonate de soude pour 30 %.

Cette analyse montre combien de corps différents, soit minéraux, soit organiques, introduit ainsi dans les liqueurs l'addition de ces agents. Du reste, et comme conséquence, c'est un fait bien connu que les sirops de raffinerie préparés avec du sang se conservent moins bien que ceux dans lesquels on n'a pas ajouté de cette matière.

D'un autre côté, on éprouve souvent des difficultés sérieuses pour conserver le sang dans les localités où on n'en a pas toujours du frais à sa disposition. Cette matière a en effet une très-grande tendance à s'altérer. On y obvie, soit en la desséchant promptement à basse température, soit en la mélangeant avec de la poussière fine de noir. Cette dernière méthode est la plus simple, attendu que le noir en poussière constitue un déchet du lavage du noir en grain, et que ce noir active en même temps pour sa part la clarification des liqueurs sucrées. De la sorte, on prévient la putréfaction de l'albumine, et le sang ainsi conservé est tout aussi actif que si on l'employait frais.

En Russie, on se sert souvent pour la clarification du sang desséché et à l'état pulvérulent. Convenablement employée, cette matière ne donne lieu à aucun désagrément.

Les inconvénients multiples que nous venons d'énumérer de cet emploi du sang ont souvent fait renoncer à son usage. Dans les cas où l'on a des sucres bruts assez purs, on opère alors l'épuration de la dissolution cuite, soit par le noir seul, soit par d'autres agents. Parmi ces derniers, nous citerons, par exemple, le phosphate acide de chaux qui, en présence d'un excès de chaux, donne des précipités volumineux, gélatineux, qui enveloppent et entrainent avec eux une grande partie des matières étrangères. On a également proposé l'alumine, qui absorbe les matières colorantes, et augmente en même temps l'action du noir. Le travail de la clarification suivi d'une simple filtration en sacs se fait ainsi très-vite et très-avantageusement. L'alumine se trouve à bas prix dans le commerce;

elle se conserve sans altération et améliore en même temps le goût du sucre brut.

Daubery propose de combiner les deux méthodes précédentes en employant le superphosphate d'alumine, qui paraitrait de nature à rendre d'excellents services dans la clarification du sucre.

Les sucres altérés et gras, notamment les sucres des colonies atteints d'eau de mer et avariés, se clarifient très-vite et très-complètement, d'après Warburton, par une petite addition de sulfate de zinc.

Les récipients dont on se sert pour dissoudre et clarifier les sucres bruts sont de forme variable. Souvent, on trouve dans les Raffineries des chaudières en cuivre complètement semblables à celles qu'on emploie pour la défécation dans les sucreries. La vapeur circule dans le double fond et échauffe le sucre en dissolution dans l'eau. On ajoute d'ailleurs à cette dissolution l'agent de clarification avant que la température ne soit arrivée au point où l'albumine se coagule, par suite au-dessous de 70°. En continuant à échauffer le liquide, l'albumine se coagule, englobe dans son réseau les matières qui troublaient la liqueur et celle-ci devient complètement claire et transparente. Dès que la dissolution arrive à l'ébullition, le travail est achevé. Les chaudières de cette forme offrent l'inconvénient que le sucre, avant de se dissoudre dans l'eau, se dépose sur le fond, et se colore facilement sous l'influence de la température élevée de cette paroi. Il faut donc nécessairement maintenir la dissolution constamment agitée. D'autre part, les frais d'installation de ces chaudières à double fond sont assez élevés, et la transmission de chaleur longue et pénible par suite de l'épaisseur du métal. Aussi, a-t-on cherché à faire agir la vapeur dans des serpentins qui assurent mieux l'échange de chaleur et dont le prix est moins élevé. Mais là encore le sucre se colore, si on n'a pas la précaution d'établir, au-dessus des tuyaux, un grillage métallique sur lequel se déposent les matières non encore dissoutes. De la sorte, on évite tout contact direct avec les tuyaux de vapeur surchauffés.

Si on complète cette installation en opérant dans des vases fermés et en produisant un peu de vide, on se trouve dans les conditions les meilleures qu'il soit possible de réaliser. — Le vide permet en effet de maintenir le liquide à une température plus basse, et cela sans inconvénient, puisque, en employant du sang, il suffit d'atteindre la température où l'albumine se coagule.

Toutefois, le plus souvent, on emploie simplement, pour la clarification, des chaudières ouvertes ou des bacs doublés de cuivre, dans lesquels la vapeur est introduite directement par un tuyau percé d'un grand nombre de petits trous. La vapeur se condense donc ainsi dans le sein même de la dissolution. Mais, dans ce cas, il faut veiller à ce que le tuyau de vapeur descende jusqu'au bas en dehors de la chaudière et qu'il débouche seulement à la partie inférieure dans le tuyau percé de trous. Sans cette précaution, si le tuyau de vapeur passait dans l'intérieur du liquide, la dissolution se trouverait plus chauffée à l'entour du tuyau que dans le reste de l'appareil, et elle se colorerait légèrement. C'est un fait remarquable que la dissolution se colore beaucoup moins avec l'introduction directe de vapeur qu'avec toute autre méthode. Il semble que la vapeur se condense au moment même où elle rencontre l'eau, et qu'elle n'agit plus ensuite que comme eau chaude et dissolvant. La quantité de vapeur nécessaire pour la clarification se détermine facilement. Il suffit de remarquer que les 1000 k^{os} de sirop de claire, par exemple, doivent s'échauffer de 10° à 100° ou de 90°. Il faut donc fournir au liquide 90,000 unités de chaleur ce qui correspond à l'introduction de $\frac{90{,}000}{540}$ ou 166 k^{os} de vapeur. On voit d'ailleurs que cette vapeur, en se condensant, restera dans la chaudière et augmentera d'autant la dilution du sucre.

La liqueur clarifiée sort alors de la chaudière par un tuyau en caoutchouc fermé par une pince et elle passe sur des filtres préparatoires formés de toiles ou de noir en gros grains. Ces corps retiennent les matières solides entrainées par le

liquide et qui gèneraient la filtration suivante. L'écume de défécation qui reste dans la chaudière est étendue d'eau, épuisée et pressée, de manière à céder la plus forte proportion du sucre qu'elle retenait.

La liqueur clarifiée ou sirop pour pains a toujours une coloration plus ou moins marquée, suivant la qualité de sang employée ou l'élévation plus ou moins forte de la température. Il suffit, pour s'en convaincre, de dissoudre du sucre pur dans de l'eau tiède et de comparer cette dissolution avec le sirop. La différence entre les nuances des deux liqueurs est souvent très-marquée.

Le sirop est alors filtré sur du noir en grains aussi fins que possible. Cet agent enlève, comme on le sait déjà, principalement les alcalis retenus par le sucre brut. Le noir élimine en même temps la chaux que l'on ajoute quelquefois à la clarification lorsqu'on travaille des sucres très-vieux et conservés longtemps.

L'élimination de ces sels est absolument indispensable. D'une part, les bases libres donnent un goût très-désagréable aux produits, d'autre part, elles déterminent, si elles sont portées à 100° avec le sucre, une coloration que l'on ne peut plus ensuite faire disparaître d'une manière complète. Le raffineur doit donc chercher avant tout à assurer cette élimination en employant une quantité suffisante de noir ou en le choisissant avec grand soin. On doit d'ailleurs proportionner la quantité de noir à la nature du sucre brut; généralement, le noir représente de 30 à 100 % du poids du sucre. Mais, si ces quantités ne devaient pas suffire pour éliminer la totalité des alcalis libres de la dissolution, il me semblerait rationnel, à la clarification même, de faire passer ces bases à l'état de combinaisons moins nuisibles pour le sucre. Dans ce but, on peut surtout employer l'acide phosphorique qui transforme les bases en phosphate. Chacun peut en effet se convaincre par un essai en petit que le sucre raffiné, dissout dans de l'eau avec du phosphate de potasse, cristallise ensuite d'une manière complète et parfaitement incolore à la température ordinaire, pendant

que les alcalis libres, agissant dans les mêmes conditions, non seulement donneraient au sucre une coloration très-forte, mais encore réduiraient singulièrement sa propriété de cristalliser.

Les chlorures alcalins n'ont également que très-peu d'influence nuisible; seulement, ils ne sont pour ainsi dire pas absorbés par le noir, et ne peuvent par suite être séparés de la dissolution sucrée. D'après ces motifs, il semble que l'acide phosphorique employé à la clarification soit l'agent le plus convenable qu'on puisse choisir. On n'a pas d'ailleurs à s'inquiéter beaucoup de ce qu'il précipite toute la chaux des jus. Dans les raffineries, les dissolutions sont déjà pures; elles ne contiennent plus de matières azotées, enfin elles sont très-concentrées et, pour ces diverses causes, ont moins de tendance à fermenter que dans les sucreries. Un bon sirop doit en effet ne pas contenir de matières azotées, ou en contenir si peu que la teinture de noix de galles n'y détermine aucun trouble.

La décoloration complète des sirops offre pour les raffineries un intérêt majeur, parce que les cristaux, en se formant dans une dissolution, retiennent toujours un peu d'eau-mère interposée. Or, quoique cette proportion de liquide soit très-faible, pour peu qu'il soit coloré, il altère la blancheur éclatante des cristaux, et cela suffit souvent, dans les sucres raffinés pour réduire notablement la valeur commerciale. Cette nécessité impérieuse de pouvoir apprécier la nuance des clairces a motivé la construction d'instruments qui mesurent et expriment aussi exactement que possible, en nombres, le degré de décoloration.

Les figg. 177 et 178 représentent un de ces instruments imaginé par Ventzke et construit par F. Schmidt de Berlin.

Il ne sert à proprement parler qu'à comparer deux liquides colorés et exprime le rapport de leurs colorations. La dissolution que l'on prend comme type de comparaison est versée dans la partie *a* de l'un des tuyaux. On obtient ainsi une tranche normale d'épaisseur invariable. L'autre dissolution est placée dans le vase *b*, d'où elle passe dans un second tuyau *e*. Ce dernier peut, à l'aide d'une vis de rappel *c*, s'allonger ou se raccourcir de façon à faire varier en même temps l'épaisseur

de la couche de liquide essayé. Une échelle *d* à la partie supérieure du tuyau *e* permet de lire exactement l'épaisseur du liquide et d'exprimer en nombres le résultat de la comparaison. L'observateur, en plaçant l'œil en *f*, voit à la fois les deux

Fig. 177.

Fig. 178.

dissolutions à comparer; il est donc très-facile d'apprécier exactement l'instant où la coloration est la même dans les deux tuyaux. L'appareil dont il s'agit est d'ailleurs beaucoup plus

commode que le décolorimètre de Payen qu'il est inutile de décrire ici en détail.

Toutefois, l'appareil de Ventzke, disposé comme nous l'avons dit, ne permet pas de comparer des colorations différant de plus de 90 %. Aussi, le complète-t-on avec des verres de différentes capacités *g*, *h*, *i*, *k*, qui permettent d'étendre la liqueur normale de 1, 2, 3 ... parties d'eau, de façon à pouvoir mesurer indirectement une décoloration quelconque.

Stammer et Grainer ont trouvé, pour mesurer la décoloration, un autre instrument auquel ils ont donné le nom de Chromoscope. Sa construction se comprend d'ailleurs à l'inspection de la fig. 179.

Fig. 179.

Il est formé d'un tuyau d'observation *A*, d'un tuyau de mesure *B*, d'un verre *p* de teinte normale et d'un tuyau compensateur.

L'idée qu'on paraît surtout avoir cherché à réaliser dans cet instrument est, non pas de comparer les dissolutions entre elles, mais de fournir une base normale fixe qui permît de

donner des chiffres comparables et concordants pour tous les pays et à toute époque. S'il était possible de trouver une pareille unité de coloration invariable, ce serait sans contredit un grand progrès réalisé.

Stammer prend, pour solution de teinte normale, la solution ulmique qu'on obtient en ajoutant à 300 centimètres cubes d'une dissolution sucrée pure à 20 % Balling 5 centimètres cubes d'acide sulfurique pur. On ajoute ensuite 10 grammes de soude caustique sèche; le mélange est maintenu à l'ébullition 5 minutes et étendu de 25 fois le volume initial (300 cent. cubes) avec de l'eau pure. C'est cette dissolution normale qui doit servir pour toutes les déterminations de nuance, mais il convient, avant chaque essai, de s'assurer que la nuance type est bien atteinte; on se sert, pour ce contrôle, d'un verre de même coloration qu'on dispose en *a* et qu'on retire au moment de chaque expérience.

Le liquide à essayer est alors versé dans le vase *E* d'où il passe dans le tube à expérience *B*. On peut, dans ce dernier tube, faire varier la hauteur de la couche liquide à l'aide d'une vis *i* et d'une crémaillère, de façon à ce que la vision indique l'identité de nuance dans les deux tubes.

Le tuyau d'expérience peut être disposé, soit à droite, soit à gauche de l'autre, de façon à contrôler les resultats obtenus par un premier essai.

Dans le cas où la liqueur à analyser a une coloration trop différente de la nuance normale pour que l'appareil se prête à la comparaison, on rachète la différence à l'aide d'un tuyau compensateur qu'on emplit du liquide à essayer et qu'on dispose dans le tube creux *B*.

Par suite de l'importance que présente en raffinerie la décoloration complète des liqueurs, on a été amené, pour augmenter l'effet du noir, non seulement à l'employer en grains très-fins, mais aussi à le repartir sur deux ou trois filtres qui se commandent et donnent à la liqueur une décoloration croissante. Aussitôt que les liquides coulent un peu teintés du second filtre, on les fait passer sur du noir neuf dans un troisième

filtre, et ainsi de suite. De la sorte, on obtient des liqueurs aussi décolorées que possible et toujours identiques; d'autre part, on utilise d'une manière très-complète le noir, car on peut laisser les filtres en service jusqu'à huit jours de suite.

On emploie des filtres complètement identiques à ceux que nous avons déjà décrits pour la fabrication du sucre brut. Nous noterons toutefois qu'en général on dispose la sortie des filtres plus haut que les appareils, de façon qu'ils ne puissent jamais se vider, ce qui nuirait à la bonne marche du travail.

Pour déterminer la quantité de dissolution sucrée que le noir retient à la filtration dans les raffineries, j'ai fait plusieurs expériences dont je reproduis ici les chiffres:

Noir employé pour 100 parties de claire.	Concentration de la claire, degrés Balling.	Claire obtenue après filtration			Perte	
		à la densité initiale %.	en eaux de dégraissage après correction %.	total %.	sur 100 parties de claire %.	en sucre %.
30	55	86,6	4,5	91,1	8,9	4,9
50	23	75	21,5	96,5	3,5	0,775
50	23,27	71	27,5	98,5	1,5	0,3
50	23,2	74,5	22,7	97,2	2,8	0,65
100	23,9	57	40,5	97,5	2,5	0,6

Ces chiffres confirment les résultats que nous avons déjà obtenus pour la filtration des jus de betteraves, à savoir que la perte à la filtration n'est nullement proportionnelle à la quantité de noir employée, qu'elle dépend exclusivement du dégraissage plus ou moins prolongé, plus ou moins complet. On obtiendra donc d'autant plus de sucre qu'on fera passer plus d'eau au dégraissage, et je conseillerais de ne jamais employer comme eau moins de deux fois le poids du noir. Il convient en outre de laisser le dégraissage s'opérer très-lentement, ce qui est toujours facile à réaliser avec des robinets dont on peut

régler le débit. Comme les eaux de dégraissage dans les raffineries sont réemployées pour dissoudre le sucre, et qu'ainsi à proprement parler leur évaporation ne coûte rien, on devrait prolonger le dégraissage jusqu'au point où le polarimètre ne révêle plus trace de sucre dans les eaux. Le polarimètre est ici d'autant plus utile qu'il permet souvent de retrouver encore une quantité sensible de sucre dans des eaux qu'on laisse perdre parce qu'elles n'ont plus de goût sucré.

Je n'ai jamais pu constater à la filtration autre chose qu'une perte purement mécanique: la réduction dans la teneur en sucre des liquides filtrés ne représente jamais qu'une quantité correspondante au poids de l'eau que renferme habituellement le noir. Pour s'emplir, un filtre exige en sirop 50 à 60 % du poids du noir. C'est donc à peu près la quantité qu'il faut, au moment du dégraissage, déplacer par de l'eau. Comme l'eau ne chasse pas uniformément devant elle la dissolution sucrée, il est bien clair que, pour obtenir un dégraissage complet, il faudrait employer une proportion d'eau beaucoup plus forte.

Un des points essentiels de la filtration est la durée du contact entre le sirop et le noir. Si cette durée est trop courte, si les filtres débitent beaucoup, le noir n'a plus un temps suffisant pour agir, la liqueur sort moins décolorée que si la filtration s'était effectuée plus lentement. — Le nombre des filtres et la réglementation de leur débit constituent donc une question importante pour la marche d'une raffinerie. Il est d'ailleurs facile de résoudre cette question par le calcul.

Supposons qu'une raffinerie doive fabriquer par jour 2500 pains à 15^{k} soit 37,500 k^{os} de sucre à 96 %. Il faudra employer pour cette production 75,000 k^{os} de sirop à 48 % Balling. Si donc on estime à 15 heures la durée du travail journalier, il faudra filtrer par heure 5000 k^{os} de sirop. Si l'on emploie 5 filtres, chacun d'eux devra fournir 1000 k^{os} par heure, soit $16^{k},6$ par minute. En plaçant un vase à embouchure étroite au-dessous du robinet d'un filtre et en notant le temps, on voit que la réglementation sera très-facile. Il convient d'ailleurs de munir à cet effet les appareils de robinets

à index très-exacts, de façon à ce qu'on puisse assurer le même débit pour tous. Si, au lieu de 15 heures, on faisait travailler les filtres 20 heures, ce qui est souvent possible, on aurait des produits beaucoup mieux décolorés.

Souvent, dans les raffineries, on dispose le travail des filtres de façon à faire passer sur le même noir, d'abord des sirops de raffinés, puis de Mélis, de Lumps et de Bâtardes. On admet ainsi que les produits inférieurs sont encore décolorés par du noir ayant déjà servi. Mais cette économie apparente peut avoir de très-fâcheuses conséquences, car les clairces plus belles des produits supérieurs étant suivies de clairces inférieures, il s'opère un mélange et, par suite, ou bien on gâte les qualités de sucre supérieures, ou on en fait passer une partie dans les produits inférieurs, résultat dans les deux cas également défavorable.

A l'appui de cette manière de voir, j'ai procédé à l'essai suivant:

Je pris un filtre rempli de noir, très-haut et très-étroit, de manière à rendre plus difficile le mélange des liqueurs; j'y introduisis de la clairce de raffiné très-belle à 54 % Balling. Une fois le noir parfaitement imprégné, je fis passer dans le filtre de la mélasse étendue à une densité de 36 % Balling seulement. S'il n'y avait pas eu mélange des deux dissolutions superposées, on aurait dû retirer la plus grande partie de la clairce incolore et plus dense sous l'état où elle était entrée dans le filtre. En réalité, on n'obtint que 50 à 60 % de la clairce pure, le reste étant mélangé avec le produit inférieur. Le passage d'un liquide impur succédant à de la clairce avait donc amené, dans l'expérience précitée, une perte très-réelle, et, dans la pratique où l'on ne peut jamais apporter les mêmes soins, il est clair que les pertes sont encore plus considérables.

Aussi, dans les raffineries dont j'ai eu à m'occuper, j'ai renoncé complètement à ce mode de filtration et de cuite par échelonnement de la valeur des produits. Chacun de ces produits à travailler reçut ses filtres spéciaux, de sorte que chaque

jour on cuisait une quantité déterminée de raffiné ou de mélis et en même temps les sous-produits obtenus la veille.

De la sorte, la marche de la raffinerie devint plus régulière, le travail de chaque jour parfaitement déterminé et toujours le même; il put donc se faire d'une façon à la fois plus simple et plus économique. Chaque jour l'usine produisait les mêmes quantités de produits de qualité toujours identique, et, à partir de ce moment, on put toujours livrer régulièrement au commerce du raffiné très-fin. En même temps, on put diviser et classer les sous-produits pour maintenir toujours la constance des résultats de la fabrication. — Cette organisation, dont on ne peut donner ici qu'une esquisse générale, fut appliquée en 1860 à la raffinerie de Smela et, alliée à d'autres améliorations, elle réussit entièrement, tant au point de vue de la beauté des produits qu'à celui du prix de revient.

La qualité du noir exerce également une grande influence sur la qualité des produits. On sait que souvent le noir neuf ne décolore pas bien et ne donne pas des raffinés très-purs. Déjà Dobereiner a reconnu[1] que le noir neuf retient encore des sels solubles, en partie dans l'eau, en partie dans l'acide chlorhydrique. Ces éléments sont naturellement repris à la filtration par la clairce dont ils réduisent la pureté. Aussi, convient-il toujours de laver le noir neuf avant l'usage à plusieurs reprises avec de l'eau bouillante. De la sorte, non seulement on élimine les sels solubles dans l'eau, mais encore les pores du noir se trouvant dégagés, son action décolorante est plus forte. On obtient encore des résultats meilleurs lorsqu'on laisse le noir en contact pendant longtemps avec une quantité suffisante d'acide chlorhydrique étendu. Ces noirs sont alors extrèmement poreux et très-actifs. Ainsi, Muspratt admet que ce traitement augmente de 60% le pouvoir décolorant du noir animal. Déjà, en 1833, Dobereiner avait fondé sur ce principe une méthode très-rationnelle d'épuration du noir. A ce titre, nous ne saurions approuver la tendance actuelle et au moins irrationnelle

1) Journal des fab. de sucre allem. T. III, p. 440.

des raffineries, de supprimer l'acide chlorhydrique. Cet acide nettoie le noir très-vite, puisqu'il suffit ensuite de 5 ou 6 lavages à l'eau chaude, tandis que, sans acide, 20 lavages ne suffisent pas pour assurer le même résultat. Il faut d'ailleurs ajouter à cela que l'eau est rarement pure et que le noir a une très-grande tendance à absorber les matières étrangères qu'elle renferme. Il conviendrait donc toujours d'employer de l'eau distillée des retours pour le lavage du noir calciné avant de l'introduire dans les filtres.

Nous aborderons maintenant le travail qui suit la filtration, c'est-à-dire la cuite dans le vide des raffinés et des mélis.

Une dissolution de sucre parfaitement pure, incolore, donnerait par la simple concentration, une cristallisation complète de sucre blanc et pur: mais le sirop, même le plus beau, n'est jamais absolument pur; d'autre part, il s'altère toujours un peu sous l'action de la chaleur. Pour ces motifs, les masses cuites qu'il donne ne sont jamais d'un blanc parfait, et l'on doit laisser à la masse une quantité d'eau suffisante pour retenir et entraîner en s'écoulant la majeure partie des principes étrangers. Donc, plus la dissolution est pure, moins il faut lui laisser d'eau à la cuite, plus cette cuite peut être serrée. Au contraire, la cuite doit être d'autant plus légère que la dissolution sucrée est moins pure.

Mais généralement, au moins dans beaucoup de pays, on veut que le sucre raffiné se présente sous forme d'une masse dense, cristallisée dans des formes déterminées, et aussi compacte que possible; il ne suffirait donc pas de concentrer simplement le sirop pour le laisser cristalliser dans les formes; il faut, dans l'appareil même, faire une cuite en grain qui, conservant très-peu d'eau, ne laisse qu'une faible partie du sucre en dissolution. Pour atteindre ce but, il faut et beaucoup de soins et beaucoup d'habitude, et nous croyons utile d'insister sur quelques-uns des détails de l'opération.

On doit d'abord, avant tout, maintenir un bon vide et une température basse, de façon à rester maître de la marche du travail. On pousse la cuite jusqu'à la preuve au filet fort, en

veillant à ce que le grain ne se soit pas formé jusque-là; le filet doit être très-grand et ne se rompre que pour un très-grand écart des doigts. Plus on veut que le grain soit fin, moins on doit faire entrer de jus à chaque addition à la cuite (½ à 1 % de la quantité totale), et plus on doit prendre la première preuve forte. A la troisième addition, on doit avoir formé un grain dense et fin. La preuve paraît alors laiteuse et pleine de bulles. C'est l'instant où le grain très-fin s'est formé et commence à se séparer. C'est de cette preuve que dépend la qualité du pain solide, son aspect velouté et sa blancheur laiteuse. Ce point une fois atteint, ce qui se produit facilement, on fait des entrées réitérées de jus, mais toujours par quantités égales, de façon à avoir un grain bien uniforme. A ce moment, le filet a disparu et une petite goutte de sirop reste entre les cristaux. On n'a alors qu'à veiller à nourrir les cristaux, à les rendre plus nerveux, de façon que le sirop se sépare mieux. A mesure que cet effet se produit, on cuit la masse plus serrée et on la conduit ainsi, sans lui laisser la faculté de cristalliser davantage, jusqu'à la 12e ou 15e entrée et jusqu'à la dernière preuve. Le sirop doit être complètement clair, les cristaux, quoique fins et arrondis, ne doivent pas s'écraser sous l'eau entre les doigts. On obtient ainsi un produit dense et compacte. On n'a d'ailleurs pas à craindre que les entrées successives de sirop n'augmentent les cristaux. En suspendant les entrées et tenant la preuve plus serrée, les grains s'aiguisent d'eux-mêmes et deviennent plus satisfaisants sur les côtés de l'appareil. Une cuite de raffinés bien menée doit être assez serrée pour donner des bulles dans le réchauffoir. Il suffit que le sucre puisse encore couler de l'agitateur ou de la cuillère d'épreuve. A proprement parler, chaque cuite pourrait être employée seule, mais pour obtenir des produits plus uniformes, on est dans l'habitude de mélanger toujours plusieurs cuites.

Si l'on veut avoir des cristaux très-durs, il faut commencer par ne prendre que la preuve au filet faible et maintenir la masse constamment brillante et claire. Le produit se travaille

alors très-facilement, est très-dense et presque translucide, mais il est loin de fournir le même rendement qu'un grain moyen.

Si l'on veut obtenir au contraire des sucres très-poreux, légers, de nuance laiteuse, qui présentent beaucoup de volume pour peu de poids, on y arrive sans difficulté en maintenant la cuite très-serrée dès le début, de façon à ce qu'elle soit déjà complètement laiteuse à la seconde preuve, ou qu'elle commence à donner des cristaux très-fins dès la première entrée. On poursuit alors la cuite de la même manière que plus haut et on ne prend qu'une preuve très-légère, faute de quoi les pointes des pains couleraient dans les formes et les fonds n'auraient pas de consistance lorsque le produit serait à moitié pris.

Si l'on veut obtenir des raffinés à l'état intermédiaire entre les cristaux fins et compacts et une cristallisation en gros morceaux, on y arrive en prenant au début une preuve au filet moyennement forte, et ajoutant d'un seul coup une forte proportion de sirop. On forme donc ainsi d'abord un commencement de gros grain. Aussitôt qu'il est assez formé, on pousse la cuite de manière à la rendre laiteuse et à former les bulles, (on la serre vivement). On obtient ainsi une matière fine, veloutée, dans laquelle se rencontrent ça et là de gros cristaux qui ont perdu par le traitement leur forme naturelle et se sont aplatis. On obtient un résultat analogue en mélangeant une première cuite en grain avec du grain très-fin d'une seconde opération. Les produits peuvent alors se terminer sans rester longtemps dans les réchauffoirs.

L'azurage du sucre se détermine d'après la nuance de la clairce: si la clairce destinée à produire des raffinés est très-claire et très-blanche, il suffit d'ajouter 8 à 10 grammes d'outremer pour 100 pains. Toutefois, pour cette question de nuance comme pour la qualité du grain, on doit se guider sur le goût des consommateurs.

La cuite de bons mélis est beaucoup plus difficile que celle du raffiné très-fin. On doit mener la cuite de façon à ce qu'un grain serré apparaisse vers la quatrième addition,

mais toutefois sans pousser la cuite de façon à produire des bulles. Le grain est alors très-fin et très-petit, mais encore solide et nerveux, il se tient pour ainsi dire seul. Si l'on est allé un peu trop loin, on fait monter la température jusqu'à 82°, point où le sucre reprend de nouveau la faculté de se nourrir, tandis qu'un traitement trop énergique dans l'appareil déterminerait plus tard à la mise en pains des pertes importantes. Du reste, c'est à la cuite qu'il faut chercher l'origine de toutes les difficultés que l'on peut rencontrer à la mise en pains, telles que: un mauvais coulage, l'affaisement de pain pendant le terrage, la sécheresse et la séparation des pointes, le manque de compacité du fond, la contraction à l'étuve, les effleurissements sur la surface et l'intérieur gras, etc. Si ces accidents ne proviennent pas forcément de la cuite, c'est toutefois là qu'il faut d'abord chercher lorsqu'ils se produisent. Malheureusement, les débutants surtout n'attachent pas assez d'importance à ce point et négligent trop la qualité du produit à la sortie de la cuite.

Il est cependant facile d'éviter ces inconvénients: il suffit, une fois le grain séparé, de tenir la cuite légère, de rester exclusivement à la preuve au filet, et d'achever la séparation du grain et du sirop par des entrées fréquentes; de la sorte le grain s'aperçoit clair et net dans la preuve. Le sucre doit être cuit rapidement. On fait une vingtaine d'entrées en veillant à ce que la masse saccharine coule toujours sur la fenêtre de l'appareil, et on prolonge la cuite jusqu'à ce que, au point de concentration voulu, les preuves indiquent que les cristaux se séparent clairs et brillants du sirop. Le grain doit être assez solide pour ne pas s'écraser sous l'eau entre les doigts, et pour qu'on sente à la langue des arètes vives.

L'entrée du jus d'une manière continue pendant la formation du grain est beaucoup moins avantageuse que les entrées périodiques à intervalles déterminés, et à ce titre, on ne doit pas employer cette méthode. Elle offre cet inconvénient que, surtout à basse température, le grain ne s'arrondit pas aussi bien ni aussi uniformément; sa séparation du sirop n'est pas aussi bien

entre les mains du cuiseur, et il arrive souvent, quand on travaille de la sorte, que les pains qu'on obtient ne se claircent que difficilement. J'en ai vu des exemples que je pourrais citer, même dans des fabriques très-renommées.

Le mélis à grain nerveux et de grosseur moyenne exige les mêmes conditions de formation. Quand la cuite est bien menée, il se travaille facilement, résiste parfaitement au clairçage même à l'eau pure, et les pains qu'on obtient joignent à l'élégance extérieure l'avantage du plus fort rendement possible.

L'action des réchauffoirs (improprement appelés les réfrigérants) est trop intimement liée à la cuite dans le vide pour que nous puissions la passer sous silence.

Si le sucre sort de l'appareil de cuite à 63° par exemple, il ne forme pas une masse compacte, les cristaux se séparent facilement, comme le démontre du reste la cuite du sucre brut. Mais, d'une manière générale, on peut admettre qu'à une température plus élevée la masse saccharine gagne en solidité.

L'action des réchauffoirs, en élevant la température, a pour effet de redissoudre à nouveau une partie du sucre déjà cristallisé. Dans le refroidissement en formes, cette partie recristallise entre les grains formés dans l'appareil; les diverses portions de la masse s'unissent ainsi d'une façon étroite et donnent au pain sa solidité. Mais il est clair que l'on doit se garder d'aller trop loin dans cette voie. Si l'on redissout dans le sirop une proportion du sucre trop forte, ce sucre ne se solidifiera ensuite que sous forme de grain moins gros et tout le travail se trouvera modifié. Il s'ensuit donc que la température de réchauffage doit être dans une relation déterminée avec la méthode de cuite employée. Si la cuite s'est faite dans les conditions indiquées plus haut, la température la plus convenable est, d'après mes recherches, de 85°. Si l'on dépasse ce point, les pains y perdent en définitive comme qualité et deviennent grossiers. Aussi, ne doit-on laisser monter la température plus haut que si la cuite est sortie de l'appareil avec une preuve trop forte. En élevant alors de 2 ou 3° la température, on redissout assez de sucre pour former les cristaux

convenables. Dans ce cas, on arrive donc au même résultat qu'on cherche à atteindre en ajoutant de l'eau à la cuite, fait qui ne doit jamais arriver à un cuiseur habile.

Dans quelques fabriques de la France et de l'Allemagne du sud, où on cuit à longues preuves et où on maltraite le sucre dans les réchauffoirs de la façon la plus blâmable en le battant, on élève la température du réchauffoir jusqu'à 90°, de façon à redissoudre une proportion suffisante du grain trop fin et à laisser le sucre cristalliser plus vigoureusement. On commence donc dans ces fabriques par commettre une faute pour la reparer ensuite.

Dans les réchauffoirs, le grain est exposé à se prendre en trop grande masse; il est donc par suite nécessaire de surveiller avec soin la température, de façon à donner un peu plus de consistance au pain, et prévenir en même temps l'altération de tous les résultats de la méthode suivie pour la formation du grain. Selon moi, les réchauffoirs constituent seulement un procédé secondaire qu'il faut employer avec prudence et qu'on ne doit jamais regarder comme indispensable. J'ai obtenu en effet les mêmes résultats par une température plus élevée, c'est-à-dire en réchauffant dans l'appareil même de cuite et travaillant rapidement le produit. De la sorte, on obtient des raffinés d'une nuance beaucoup plus claire.

Dans quelques pays, où l'on exige des produits très-durs comme en Angleterre et en Russie, par exemple, on est forcé de réchauffer la masse cuite jusqu'à 90° et même 115°. Naturellement, on doit prendre une preuve forte correspondant à cette température, c'est-à-dire qu'on doit laisser dans la masse assez peu d'eau pour que, même à cette température où la solubilité du sucre est si grande, l'eau ne puisse pas dissoudre plus de cristaux qu'il n'en faut pour lier la masse au moment du refroidissement. Ces sucres ont alors un aspect vitreux très-serré, ils ne se dissolvent que très-difficilement dans l'eau et sont notablement plus compactes que les produits traités à une température plus basse.

Les sucres de cette nature doivent être agités dans le réchauffoir de façon que la masse reste aussi uniforme que possible pendant qu'on y puise, et qu'il ne se forme pas de morceaux solides (sucre de chaudières) qui se ne laisseraient plus ensuite claircer une fois en pains. Le premier but ne s'atteint que d'une manière très-imparfaite surtout avec des masses cuites très-serrées; les premières formes que l'on emplit renferment toujours une masse plus fluide et sont plus légères que les dernières pour lesquelles la masse s'est déjà épaissie.[1]

Fig. 180.

Les formes que l'on emploie sont aujourd'hui généralement faites en tôle bien vernissée; elles doivent être nettoyées à fond à la vapeur ou à l'eau chaude, de façon à les débarrasser entièrement des parcelles de sucre restées adhérentes; on les soumet ensuite à un lavage.

Cette dernière opération se fait très-commodé-

1) Je me permettrai de signaler ici, surtout pour la Russie, que j'ai imaginé un procédé qui permet de distribuer la masse uniformément dans les formes et donne des produits très-serrés, en dispensant presque complètement du barbottage des pains. Ce procédé fournit avec certitude des sucres très-durs et très-peu solubles.

ment à l'aide de la machine représentée figure 180 qui donne d'excellents résultats.

Un cône *a* muni de brosses reçoit, par les engrenages *b c*, un mouvement de rotation très-rapide. Ce mouvement est donné à la poulie *d*, soit par la machine, soit par une roue à manivelle. Le cône est réuni en *e* par un joint étanche à un tuyau par lequel l'eau arrive dans le cône *a* dont la surface est percée de trous. L'admission d'eau est à la commande de l'ouvrier qui n'a qu'à ouvrir en *g* (avec le pied) la soupape d'arrivée. A la partie supérieure du cône sont ménagés quelques trous par lesquels s'échappe l'eau.

L'ouvrier n'a qu'à placer les formes sur le cône. Les brosses opèrent le nettoyage et détachent les saletés qui sont entrainées ensuite par l'eau lorsqu'on ouvre la soupape *g*. La petite ouverture à la pointe des formes est fermée ensuite avec un bouchon de bois ou de fer galvanisé. Puis les formes sont disposées la pointe en bas sur un plancher en plusieurs lignes et remplies avec la masse cuite puisée dans le réchauffoir.

L'emplissage des formes se fait en général avec des bassins et, comme l'opération exige pour son succès une température égale et assez élevée, le travail de l'empli est très-pénible. Il serait pourtant facile de le faire avec beaucoup moins de peine et dans de meilleures conditions.

En ce qui concerne la marche de la cristallisation dans les formes, les changements de température modifient la position relative des parties qui cristallisent et peuvent même modifier la nature des cristaux. Ainsi, un courant d'air froid détermine une solidification rapide de la masse sur la paroi métallique de la forme; il se forme une enveloppe serrée de sucre compacte, pendant que l'intérieur, restant chaud plus longtemps, cristallise régulièrement. On dit alors que le pain est "saisi". Si la température de l'empli est constante et basse, les pains se refroidissent très-vite et leur surface se recouvre d'une croûte cristalline épaisse et serrée. Au contraire, si la chaleur de la salle est suffisante, la partie supérieure du pain reste longtemps fluide, la chaleur s'y conservant longtemps, et les parties plus

légères de la dissolution tendant à remonter à la surface. — Pour égaliser le pain, on est généralement dans l'usage d'opaler ou de briser la surface extérieure du pain et la croûte supérieure, en ramenant vers le milieu ces parties cristallisées trop brusquement. De la sorte, on rend le refroidissement plus régulier, et, si l'opération est répétée plusieurs fois, la masse entière cristallise uniformément. La température de l'empli doit être maintenu à 37° environ.

On laisse les pains en général de 12 à 24 heures dans l'empli, de façon à avoir du premier coup un rendement aussi élevé que possible en sucre cristallisé. Il est évident en effet qu'il faut laisser au liquide des formes un temps suffisant pour qu'il puisse cristalliser d'une manière complète. Dans quelques essais que j'ai suivis à ce sujet, j'ai laissé un certain nombre de pains provenant de la même cuite, les uns 6 heures, les autres 12, les derniers 24 heures, avant de les livrer au travail des greniers. Le sirop qui s'écoulait des formes était d'autant plus chaud que les pains étaient restés moins longtemps en dépôt, et, bien que les produits fussent ensuite soumis exactement au même traitement, la densité d'un morceau de raffiné était d'autant plus forte que le pain était resté plus longtemps à l'empli; la différence était de 2 % et plus.

Une fois les pains formés dans l'empli, on enlève le bouchon qui fermait la pointe de la forme. On "prime" ou on agrandit avec un couteau aigu l'ouverture qui se trouve ainsi formée dans la masse solide, et on monte les pains dans les étages supérieurs, ou, suivant l'expression technique, aux greniers.

Chapitre II.

Travail des greniers et des étuves.

On comprend sous le nom de travail des greniers toutes les manipulations que reçoit, après l'emplissage les formes, la masse cristallisée. Les pains sortant de l'empli sont disposés

en ligne sur des planchers percés de trous. Sous ces planchers sont ménagées des gouttières qui reçoivent et conduissent dans les récipients convenables le sirop "vert" qui s'écoule librement des formes. Lorsque le sirop est descendu jusqu'à la tête, pour procéder au blanchiment, on enlève la couche supérieure du pain ou patte, qui n'est jamais bien cristallisée, sur une hauteur de 3 ou 4 centimètres. On obtient ainsi la place nécessaire pour verser le sirop de clairce ou disposer la matière solide dans le cas du clairçage à l'eau.

Dans ce dernier cas, on mélange le sucre enlevé au pain (750 grammes environ par pain) avec une quantité d'eau suffisante pour qu'à la température du grenier une partie du sucre reste non dissoute. Cette pâte est versée sur le pain et la solution saturée à laquelle elle donne naissance déplace le sirop resté adhérent aux cristaux. Le sucre provenant du grattage des fonds n'est jamais blanc; la clairce qu'il donne ne saurait donc produire le blanchiment complet du pain qu'on recherche et on est obligé de déplacer ce liquide de clairce à son tour par un sirop incolore. La méthode que nous venons d'indiquer ne saurait donc être regardée comme un mode de travail plus économique, et il vaut mieux, au lieu d'employer du sucre de grattage, préparer dès le début la clairce avec de l'eau distillée et du sucre pur et blanc. Les clairces à l'eau ont du reste l'inconvénient que souvent elles ne sont pas complètement saturées, qu'une partie du sucre se redissout et que le pain est exposé à "tomber". Pour éviter ces inconvénients, beaucoup de fabricants ont complètement renoncé à la clairce à l'eau. Ils se bornent à disposer sur la surface grattée du pain une couche de sucre blanc en grôs grains. De la sorte, on réalise les avantages de la clairce à l'eau, savoir, de protéger le pain contre la poussière et de rendre sans inconvénients de petites variations dans la densité du sirop de clairce. La couche de sucre étant tassée légèrement, on verse dessus le sirop de clairce pour la préparation duquel on suit diverses méthodes.

Quelques fabricants prennent du sucre blanc cassé en morceaux et le dissolvent dans de l'eau pure à la température

ordinaire. L'opération se fait dans des bacs en cuivre très-propres ou des vases émaillés; à la température de 17°, l'eau dissout environ 2 fois son poids de sucre et la dissolution pèse 36° Baumé ou 67 % Balling. Le sirop qu'on obtient ainsi est incolore si l'on a employé des matières premières pures; il est parfaitement propre au clairçage, attendu qu'il ne peut plus dissoudre de nouvelles quantités de sucre. Il présente seulement l'inconvénient de n'être pas absolument clair, cela est dû à ce que les eaux du le sucre renferment toujours des mélanges étrangers de composition minérale ou organique qui, dans l'acte de la dissolution, ne sont pas éliminés. Ce mode de préparation à froid de la clairce est aujourd'hui souvent remplacé par la méthode préférable de préparation à chaud. On chauffe à la vapeur l'eau et le sucre, de façon à dissoudre beaucoup plus rapidement cette dernière matière. Souvent, on pousse la température jusqu'à 85°, point auquel on ajoute à la solution, soit une substance coagulante, comme le sang, le blanc d'œuf, soit un mélange clarifiant et décolorant, comme l'alumine, le phosphate de chaux ou autres. Dans le premier cas, on filtre la dissolution sur du noir pour faire disparaître toute coloration. Dans le second cas, on se borne à faire passer le liquide sur une toile, de façon à séparer les impuretés et le précipité. L'emploi de l'alumine en particulier paraît très-avantageux.

Dans d'autres usines, on porte la clairce jusqu'à l'ébullition; ce mode de préparation est peu rationnel, car du sucre, même complètement blanc, se colore toujours un peu en jaune par une température un peu forte, et cette coloration est d'autant plus marquée que le liquide a été maintenu plus longtemps à l'ébullition. Au même titre, le mode d'action de la vapeur par serpentins, double-fonds, ou action directe, ne paraît pas chose indifférente. La vapeur introduite directement dans le liquide paraît donner une moindre coloration que si elle agit à haute pression dans les serpentins. Il convient d'ailleurs, au même point de vue, d'employer de la vapeur déjà détendue des machines et d'opérer, quand on le peut, la dissolution et la clarification dans le vide à basse température, de 60 à 65° par exemple.

La filtration de la clairce sur du noir fin est une bonne opération qui augmente l'effet du clairçage. Aussi, est-elle presque partout adoptée; seulement, il ne faut pas oublier que, le noir retenant du sucre, cette filtration entraîne une dépense assez importante.

La clairce, une fois préparée, doit être immédiatement refroidie jusqu'à la température des greniers. En laissant simplement le liquide dans les vases où il a été préparé, le refroidissement exige deux ou trois jours; aussi, pour gagner du temps, on emploie presque partout des serpentins réfrigérants, dans lesquels on fait circuler la clairce sortant du filtre. L'eau froide qui entoure le serpentin abaisse immédiatement la température au degré voulu pour l'emploi. Cette installation très-simple devrait être toujours adoptée, car la clairce, en restant trop longtemps dans des chambres où l'air est toujours chargé de poussières et impur, se colore très-facilement. Il y a donc tout avantage à pouvoir l'employer dès qu'elle est préparée, en la refroidissant aussi rapidement que possible.

La clairce doit former, à la température des greniers, une dissolution entièrement saturée, sans quoi elle pourrait redissoudre une partie du sucre des pains et altérer ainsi la densité de la masse cristalline. Comme le pouvoir de dissolution de l'eau pour le sucre est variable pour les différentes températures, il peut être utile de donner ici la table de ces pouvoirs de dissolution.

Aux températures de	La dissolution saturée marque
30° centig.	36°,1 Baumé
35° -	35°,8 -
40° -	35°,6 -
45° -	35°,4 -
50° -	35°,1 -
55° -	34°,8 -
60° -	34°,6 -
65° -	34°,4 -
70° -	34°,1 -

Aux températures de		La dissolution saturée marque	
75°	centig.	33°,9	Baumé
80°	-	33°,7	-
85°	-	33°,5	-
90°	-	33°,3	-
95°	-	33°,2	-
100°	-	33°,1	-

Les phénomènes du clairçage ou du blanchiment sont purement mécaniques. Le sirop de clairce versé sur les pains tend, en vertu de sa densité, à descendre et déplace, en le pressant, le sirop resté entre les cristaux. Si la cristallisation du pain est fine et serrée, la pénétration par la clairce se fait lentement, le liquide ayant à vaincre des résistances plus grandes pour traverser les canaux étroits et nombreux que laissent entre eux les cristaux. Plus la masse cristalline est divisée et légère, plus le clairçage se fait facilement et promptement. Une fois le sirop déplacé, la clairce continue à descendre jusqu'au moment où sa pression hydrostatique n'est plus assez forte pour vaincre la capillarité de la masse cristallisée. Il reste par suite, et suivant la texture plus ou moins serrée, une tête humide plus ou moins grosse, que l'on enlève par le lochage (voir plus loin).

Pour obtenir des raffinés blancs, la seule condition est que la clairce soit elle-même très-blanche; on ne saurait donc rendre un pain plus blanc en employant des quantités de clairce plus considérables. Ce serait une erreur complète, car, une fois que la clairce à déplacé l'eau-mère restée entre les cristaux, elle ne saurait plus produire aucune autre action ultérieure; il serait donc sans intérêt d'en prolonger l'emploi. Si les raffinés supérieurs sont plus ou moins blancs par rapport aux mélis ordinaires (même avec des clairces identiques), cela tient uniquement à la pureté relative de l'eau-mère renfermée dans les cristaux et que la clairce ne saurait éliminer. On sait en effet que, dans la formation de chaque cristal, il reste entre ses couches successives une petite quantité d'eau-mère et cette

quantité est d'autant moindre que le cristal est plus petit. C'est pour ce même motif qu'il est plus facile d'obtenir à l'état de pureté du sucre cristallisé fin que du sucre en gros cristaux. On trouve également là l'explication du fait constaté par Baudrimont que le sucre en cristaux fins a un pouvoir de polarisation plus grand que l'autre (voir le chapitre sur la cristallisation du sucre candi). Du reste, il suffit d'observer la fabrication des candis pour s'assurer que les gros cristaux retiennent beaucoup d'eau-mère. Le sucre candi blanc ne peut s'obtenir qu'avec une solution parfaitement incoloré, tandis qu'en teintant le liquide, avant la cristallisation, on peut produire des cristaux de telle nuance qu'on le désire. Dans ces conditions, il faut bien qu'une partie de l'eau-mère reste dans le cristal, car la matière solide même qui forme ce cristal n'est pas colorée.

La quantité de clairce nécessaire pour blanchir complètement les pains et qu'on ajoute en plusieurs fractions, varie avec la qualité du sucre que l'on veut produire. Un pain de raffiné fin exige environ de $3^k,500$ à 4^k de clairce contenant $2^k,500$ de sucre, tandis que les produits ordinaires en demandent beaucoup plus. Il arrive en effet, pour ces derniers, que le sirop et la clairce se mélangent à leurs points de contact et, par suite, la clairce produit moins d'effet. On dit alors que la clairce attire ou fait remonter le sirop. C'est en vertu de ce fait qu'il convient, avant de claircer un pain, de laisser former la tête, c'est-à-dire de laisser écouler librement le sirop autant qu'on le peut. Si l'on n'a pas cette précaution, on dépense, comme le prouvent toutes les expériences, beaucoup plus de clairce sans réduire la durée du travail.

Quant à la meilleure méthode pour donner la clairce au pain, si simple que soit la chose, les opinions sont très-partagées. Le plus simple est, sans contredit, d'emplir immédiatement l'espace vide dans la forme, au-dessus du pain, avec la dissolution saturée de sucre. On laisse alors le tout tranquille et, quand la croûte supérieure est devenue trop dure, trop vitreuse, on se borne à la diviser un peu, sur le pain lui-même, pour rendre à la clairce la faculté de pénétrer dans

la masse. Il ne faudrait pas toutefois prendre comme règle que la croûte doit être souvent brisée et mélangée chaque fois à la clairce. Ce mode d'agir entrainerait beaucoup de main-d'œuvre et donnerait lieu à un travail peu satisfaisant comme propreté, car ce mouvage ne peut guères se faire sans qu'un peu de matière soit projeté au dehors et par suite perdu. Les mêmes observations s'appliquent au mode de travail dans lequel on détache ou on gratte le dessus du pain pour l'agiter, dans un bac spécial, avec la clairce liquide et reverser le tout à nouveau dans la forme. C'est au fond la même manipulation, mais faite plus proprement, et son seul inconvénient est d'augmenter le prix de revient en main-d'œuvre.

Galland a proposé une autre méthode de clairçage. Le sirop de clairce est placé dans des vases à col effilé que l'on renverse sur le pain, le goulot en bas. Il ne sort de clairce du vase que jusqu'au point où le liquide ferme de lui-même l'embouchure plate du vase, la pression atmosphérique arrêtant alors l'écoulement. Dès que le niveau de la couche au-dessus du pain s'abaisse, il rentre un peu d'air dans le vase à clairce et il en sort une quantité correspondante de liquide. De la sorte, on obtient un clairçage continu et par suite la durée de l'opération se trouve réduite. Mais, par contre, cette méthode exige pour les vases des frais d'achat et de réparation; elle ne réduit pour ainsi dire ni le travail ni la consommation de clairce. Enfin, elle ne saurait s'appliquer au sucres ordinaires, dont les pains ont trop de tendance à devenir vitreux.

Les sirops qui s'écoulent des formes pendant et après le clairçage portent le nom de sirops couverts. On les fait recuire pour la fabrication de produits de même qualité que ceux dont ils proviennent, c'est-à-dire que les sirops couverts de raffinés sont remis en œuvre pour la fabrication de raffinés, de mélis pour des mélis, etc. Leur quantité est proportionnelle à la dose de clairce employée.

L'opération du blanchiment n'est complète que quand le pain est entièrement blanc jusqu'à la pointe et, pour le raffiné fin, lorsque la masse est translucide. Pour assurer ce résultat

on gratte la patte du pain (plamotage) et on le laisse encore 3 ou 5 jours sur les planchers de façon à réduire autant que possible la tête humide. A ce moment, on livre les pains à l'égouttage.

Fig. 181.

La fig. 181 représente l'appareil d'égouttage ou de succion installé par Krausschutz. Le tuyau horizontal *E* de large diamètre est en communication par le tuyau *A* avec une pompe à air dont l'effet est accusé par le baromètre *B*. On dispose les formes (de 1 à 9) au dessus de ce tuyau, et on les met en communication avec le vide en faisant reposer la pointe de la forme dans de petits entonnoirs avec joint en caoutchouc. Des robinets *a* permettent d'ailleurs de supprimer ou d'établir la communication à volonté. La pression atmosphérique extérieure s'exerçant sur le pain pénètre dans les pores du sucre, presse le liquide qu'il renferme et le force à passer dans le tuyau *E*, d'où on le retire par le robinet *d* lorsque le tube de niveau *c* indique que le liquide est en quantité suffisante. Le robinet *b* permet de faire échapper la vapeur pour nettoyer les tuyaux des incrustations de sucre.

Au lieu de prendre le tuyau *E* assez grand (25 à 30 c.) pour qu'il puisse servir de réservoir au sirop qui s'écoule, on peut se borner à prendre ce tuyau de 5 ou 6 centimètres de diamètre et à faire couler le sirop d'une manière continue par le tuyau *d* dans un réservoir fermé où l'on maintient le même vide que dans le tuyau horizontal. On peut aussi faire descendre le tuyau *d* partant de l'appareil assez bas pour que, son extrémité plongeant dans les réservoirs à sirop, il forme baromètre, en assurant l'écoulement naturel du sirop pendant que la pompe à air agit en *A*.

Les sirops qu'on obtient dans ce travail portent le nom de sirops d'égoût. On peut les réemployer pour le clairçage, attendu qu'ils sont parfaitement blancs. Ils représentent, comme quantité, environ $0^k,550$ par pain de raffiné.

L'effet de l'appareil d'égouttage décrit ci-dessus n'est jamais complet. Le vide est le plus fort à la pointe du pain, mais au-dessus, à partir de 8 ou 15 centimètres suivant la densité de la masse, la clairce n'est éliminée que d'une manière très-imparfaite. Il faut donc, après avoir laissé les pains de 3 à 6 heures sur l'appareil suivant la solidité du sucre, et lorsqu'ils paraissent avoir perdu leur humidité, les détacher

des formes par quelques coups, les faire sortir et, tout en laissant la forme dessus, les faire reposer sur le plancher par leur large base, de façon que l'humidité concentrée à la pointe se répartisse uniformément.

Au lieu d'enlever l'excédant de sirop ou d'humidité par l'appareil ci-dessus indiqué et la pression atmosphérique, on s'est longtemps borné à couper la tête humide de pain à laide de la machine représentée figure 182 et à tourner une nouvelle tête. A cet effet, un ouvrier présentait le pain devant les couteaux animés d'un mouvement de rotation. Aujourd'hui encore on fait usage de cette machine en même temps que de l'appareil d'égouttage, lorsque la forme extérieure du pain a souffert pendant le travail. A l'aide d'un second couteau (représenté sur le sol dans notre dessin) qu'on peut monter sur le même arbre, la machine permet de dresser le fond du pain, c'est-à-dire d'enlever l'excédant de sucre qui se trouve à la base.

Les pains, blanchis et égouttés aussi bien que possible, arrivent ensuite aux étuves où ils perdent l'excès d'humidité qu'ils renfermaient encore dans leur masse (0^{k}625^{g} environ par pain).

Les étuves sont d'habitude des salles étroites, plus ou moins hautes, dans lesquelles on dispose les pains sur un rayonnage, soit en bois, soit en fer. Près du sol sont installés en série des tuyaux de vapeur sous lesquels l'air froid arrive pour s'échauffer. Cet air s'élève ensuite et, après avoir enlevé aux pains une partie de leur humidité, s'échappe par une ouverture ménagée à la partie supérieure de la salle. Dans son trajet, l'air se refroidit, d'une part de la chaleur qu'il cède aux pains pour les amener à sa température, d'une autre part, de la chaleur employée à vaporiser l'eau, chaleur qui passe à l'état latent. Aussi, est-ce seulement vers la fin de la dessiccation que l'air sort en conservant à peu près la température et le degré d'humidité qu'il avait à l'entrée.

Les tuyaux de chauffage devraient n'avoir qu'un faible diamètre ou une section allongée, de façon à augmenter autant que possible leur surface et rendre le chauffage plus actif à frais d'installation égaux. On devrait également n'y faire circuler

que de la vapeur des retours, car la température de l'étuve n'a pas besoin de s'élever au-dessus de 90°.

Fig. 182.

Dans son passage à travers la salle, l'air tend naturellement à suivre le chemin où il rencontre le moins de résistance et, comme les orifices d'évacuation sont généralement ménagés au milieu de la salle, il tend à monter directement, sans que

son effet utile s'étende sur tous les points de l'étuve. Aussi, Péclet propose de renverser la circulation de l'air chaud, c'est-à-dire de le faire arriver par le haut et de ménager sa sortie à la partie inférieure de la salle. Cette installation assurerait la répartition plus uniforme dans tout le local de l'air chaud obligé de descendre et il en résulterait dans la dessiccation une régularité plus grande. Quand au tirage d'ailleurs assez faible, qui serait nécessaire pour faire évacuer l'air à la partie inférieure, il serait facile de l'obtenir, soit en faisant déboucher les canaux d'appel dans une cheminée élevée, soit en se servant d'un ventilateur. On arriverait d'ailleurs à une répartition de l'air encore plus uniforme si, au lieu d'une seule ouverture d'appel au milieu de la salle, on faisait sortir l'air sur toute la surface au travers d'un plancher percé de trous. Du reste, même pour des installations déjà établies, à circulation d'air de bas en haut, il serait beaucoup plus rationnel, au lieu d'une seule cheminée d'appel au milieu du plafond, de ménager plusieurs gaînes débouchant près des murs et dans les angles de la pièce, car c'est surtout dans ces endroits que l'air a moins de tendance à arriver.

La hauteur démesurée des salles constitue un des inconvénients principaux des installations actuelles. L'air pénétrant par le bas se sature d'humidité en passant sur les pains inférieurs et, lorsqu'il arrive dans les couches plus élevées, il ne peut plus enlever qu'une très-faible proportion d'eau. Aussi, les pains situés vers le haut des étuves sont-ils toujours plus longs à se dessécher que ceux du bas.

J'ai voulu me rendre compte de la différence de saturation de l'air dans ces conditions et j'ai suivi, pendant les mois de Décembre et de Janvier, avec un hygromètre de Saussure, la marche d'une étuve de 2500 pains. Les résultats de ces observations sont consignés dans le tableau ci-après. Les chiffres des colonnes marquées "en bas" correspondent à la deuxième rangée de pains à partir du plancher.

Date.	Degré hygrométrique		Température en degrés Réaumur		Date.	Degré hygrométrique		Température en degrés Réaumur	
	en bas.	en haut.	en bas.	en haut.		en bas.	en haut.	en bas.	en haut.
Déc. 22	60	70	38	39	Janv. 12	60	65	38	39
- 23	60	65	39	41	- 13	50	55	39	40
- 24	55	60	40	41,5	- 14	45	48	40	41
- 25	50	53	41	42	- 15	40	43	41	42
- 26	45	48	42	43	- 16	39	41	42	42,5
- 27	40	43	43	44	- 17	38	39	43	43,5
- 28	37	39	44	44,75	- 18	37	38	44	44,5
- 29	36	37	45	45,5	- 19	36	36,5	45	45,5
- 30	35	36	44	44,5	- 20	35	35,6	46	46,2
- 31	34	34,5	44	44,25	- 21	34	34,3	47	47,2
Janv. 1	33	33,5	44	44,2	- 22	34	34,2	46	46
- 2	33	33	44	44	- 23	34	34,1	46	46

On voit que, dans les premiers jours, l'hygromètre accusait 5° de différence entre le haut et le bas et que la dessiccation ne put être considérée comme complète que quand cette différence se réduisit à zéro. Comme l'air qui entre contient, en hiver, beaucoup moins d'humidité qu'en été, on voit qu'à températures égales l'étuvage doit se faire beaucoup plus vite pendant la première de ces deux saisons.

Bien que la consommation de chaleur augmente quand on réduit la hauteur des étuves en élargissant leurs autres dimensions, une installation ainsi faite serait néanmoins plus avantageuse que les autres, parce que les pains y sèchent plus vite et plus également, ce qui a une sérieuse importance. Du reste, il serait facile de fournir à cette plus grande quantité d'air la chaleur nécessaire sans dépense spéciale de combustible. Il suffirait, dans le canal de fumée qui va des générateurs à la cheminée, d'installer des tuyaux en fonte dans lesquels on laisserait passer l'air. Celui-ci s'échaufferait ainsi facilement jusqu'à 50 ou 60°, et on n'aurait plus qu'à le conduire dans un simple tuyau de zinc jusqu'aux étuves où cette chaleur doit être utilisée. Ce système de tuyaux ne réduirait que très-peu

le tirage de la cheminée. On arriverait de la sorte à une installation beaucoup plus économique qu'avec le mode actuel de chauffage à la vapeur, et en même temps on pourrait disposer de la vapeur détendue des machines, soit pour la clarification, soit pour la cuite, etc.

On pourrait augmenter encore d'une manière notable le pouvoir d'absorption de l'air pour l'humidité et par suite son effet utile, en le dépouillant, soit de la totalité, soit de la majeure partie de son humidité propre. Il suffirait pour cela, avant d'échauffer l'air, de le faire passer très-lentement sur de grandes surfaces de chaux récemment cuite ou de chlorure de calcium. Lorsque les substances, par suite de la quantité d'eau qu'elles absorbent deviennent inactives, on leur rend sans peine leurs propriétés premières, soit en les calcinant pour la chaux, soit en les fondant dans des chaudières en fer pour le chlorure de calcium. Les installations de ce genre sont adoptées déjà depuis longtemps en Angleterre pour la dessiccation des cigares. Cent parties de chlorure de calcium peuvent absorber 124 parties d'eau (Dumond, G. Fitzgerald).

On a également cherché à obtenir une dessiccation plus rapide en se servant de ventilateurs pour faire circuler dans les étuves une plus forte proportion d'air. On refoule l'air en le faisant arriver dans la salle, soit au plancher, soit au plafond; on peut également déterminer une aspiration, soit par le haut, soit par le bas. Comme l'air échauffé a un volume notablement plus grand qu'avant, les ventilateurs doivent, dans ce dernier cas, débiter un volume plus considérable dans la même mesure. Du reste, dans les ventilations par appel, on est amené à faire la prise en un seul point, et on retombe sur les inconvénients déjà signalés plus haut. Dans des étuves bien installées, je n'ai pu constater aucun avantage à l'emploi des ventilateurs, et la raison s'en conçoit aisément: l'air, animé d'une grande vitesse, sort très-peu saturé d'humidité; d'autre part, les pains de sucre ne contiennent pas une quantité d'eau telle qu'elle puisse s'évaporer promptement.

Lorsque les pains sont restés à l'étuve de 8 à 12 jours et qu'ils sont complètement secs, on les laisse refroidir et on

procède au pliage, en les recouvrant d'une enveloppe de papier: ils sont alors en état d'être livrés à la consommation.

Les sous-produits (Bâtardes) qu'on obtient dans le raffinage du sucre et les pains mal réussis sont en général recuits, mais, dans beaucoup de fabriques, on les réduit en poudre qu'on livre sous le nom de "farine" au commerce. On se sert généralement pour cette pulvérisation de moulins à rouleaux.

Les morceaux de sucre jetés dans une trémie sont saisis et désagrégés entre deux rouleaux dentés, puis passent entre d'autres rouleaux à surface lisse qui achèvent de diviser la masse. La poudre ainsi produite tombe sur un tamis qui reçoit un mouvement de trépidation de la machine même.

Chapitre III.

Sur la cristallisation du sucre candi.

Observation: Les pages qui suivent sont la traduction libre d'un travail sur la cristallisation, qui a paru dans le rapport "*Investigations in relation to cane Sugar, made in obedience to an act of Congress Washington 1847, Report page 97.*" Je me suis permis de refaire en partie cet article de façon à le mettre au courant des progrès actuels de cette branche d'industrie. J'ajouterai seulement que si le lecteur y trouve quelques passages faibles, j'en accepte la responsabilité comme auteur des changements, tandis que pour tout ce que renferme d'utile ce travail je prie d'en reporter l'honneur au savant Américain auquel il est dû, au professeur Mac-Culloch. (L. W.)

I. Les substances qui passent de l'état liquide à l'état solide affectent généralement des formes régulières et géométriques. Cette disposition symétrique des particules, ou, plus brièvement, cette cristallisation, n'est aucunement l'effet du hasard, mais la conséquence nécessaire de certaines forces déterminées qui agissent avec une régularité extraordinaire et dérivent de la nature même des substances. Les lois générales auxquelles sont soumis les corps, les circonstances qui modifient leur action constituent une étude importante: leur connaissance est essentielle au point de vue de la science pure et leur application pratique fournit de précieux résultats dans maintes branches

de l'industrie. Pour le fabricant de sucre en particulier, il est indispensable de connaître les lois de la cristallisation. Aussi, m'a-t-il semblé que c'était ici le lieu de rappeler quelques unes des données principales que la chimie et l'expérience pratique ont établies d'une manière indiscutable. (Ces lois sont d'ailleurs exposées plus en détail dans la chimie de Berzélius et l'ouvrage de Dumas: *Chimie appliquée aux arts*). Ces données pourront montrer au fabricant qu'il n'y a, dans les phénomènes qui se passent devant lui, ni incertitude, ni hasard aveugle, que tout est conforme à des lois immuables dont la connaissance assure dans la pratique le succès des méthodes et des fabrications.

Plus la cristallisation s'effectue lente et tranquille, plus les cristaux sont gros et parfaits; au contraire, plus elle est rapide, et plus les cristaux sont petits enchevêtrés et confus, ainsi que nous l'avons déjà vu dans un précédent chapitre à propos de la cuite dans le vide. Pour obtenir des candis cristallisés en gros grain, il faudra donc prendre du sirop peu concentré et le laisser cristalliser tranquillement et lentement dans une étuve à haute température, tandis que pour obtenir le sucre en pains à petits grains, il faut, non seulement agiter fréquemment la masse, mais encore, et surtout, employer des sirops très-concentrés dont la prise est très-rapide.

La présence dans une dissolution cristallisable de matières étrangères et surtout de matières poreuses, facilite notablement la formation des cristaux. C'est à ce titre qu'on place dans les terrines à candi des fétus de paille, et c'est à ce titre aussi que, dans la fabrication du vitriol bleu et de divers autres sels, on dispose dans le liquide des morceaux de bois sur lesquels le sel vient cristalliser.

Les cristaux déjà formés exercent une influence encore plus énergique que les corps poreux. Leur action est si grande que, dans une dissolution de deux sels, par exemple, on peut déterminer la cristallisation de l'un ou de l'autre, à volonté, suivant qu'on place dans le liquide un cristal du sel que l'on veut faire cristalliser. Ainsi, si l'on dissout dans cinq parties d'eau chaude deux parties de salpêtre et trois parties de sel

de Glauber, et si on divise la solution ainsi obtenue en deux vases, en mettant un cristal de salpêtre dans l'un, de sel de Glauber dans l'autre et laissant le tout refroidir lentement, on n'obtiendra dans le premier vase que des cristaux de salpêtre, dans le second que des cristaux de sel de Glauber.

On augmente le volume des cristaux, sans altérer leur forme, en les plongeant dans une dissolution saturée. Les gros cristaux s'accroissent en effet dans une même dissolution aux dépens des petits si les changements de température le permettent. Ce principe scientifique trouve son application dans la cuite en grains des fabriques de sucre, lorsque la cuite accuse un mélange de gros cristaux et de petits par suite d'une direction imparfaite du travail. On peut maintenir la masse cuite tranquille, dans l'appareil même, à une température un peu plus haute (75° environ); au bout d'une demi-heure, on reprend le travail et on peut le conduire jusqu'à la fin avec une production de cristaux plus gros. La dissolution se trouve en effet, à une température élevée, plus concentrée, une partie des cristaux passant de nouveau à l'état liquide. Pendant le refroidissement, cette masse cristallisable s'attache surtout aux gros cristaux, de telle sorte qu'au bout d'un certain temps, les petits cristaux ont complètement disparu.

Dans les dissolutions qui peuvent cristalliser tranquillement, la cristallisation se produit surtout au fond et ne se répartit pas uniformément dans tout le liquide. Le motif en est que les cristaux, en se solidifiant, rendent le liquide d'où ils proviennent plus léger que le reste de la dissolution. Ce liquide apauvri doit donc monter à la partie supérieure de la masse, pendant que la dissolution plus dense encore saturée descend au fond des vases. Ce liquide saturé abandonne à son tour sous forme de cristaux une partie de ses éléments solides, et remonte vers le haut. Ce phénomène est du reste facile à constater: si, dans un vase en verre, on observe une dissolution en train de cristalliser, on aperçoit, non seulement un mouvement continu de bas en haut du liquide, mais encore des courants particuliers, dont le point de départ est surtout sur les

gros cristaux. C'est pour ce motif que le candi cristallise en branches beaucoup plus fortes. au fond des terrines qu'en haut, et que le dépôt solide du fond est beaucoup plus dense que celui des parois supérieures.

Tous les cristaux qui se forment dans des dissolutions aqueuses retiennent un peu de la dissolution interposée mécaniquement entre leurs particules, si la dissolution contient des substances étrangères. On n'obtiendra donc ainsi que des cristaux plus ou moins impurs. C'est en utilisant ce fait qu'on produit des cristaux colorés: il suffit de méler à la dissolution un peu de matière colorante qui se trouve enfermée dans les cristaux et leur communique une teinte plus ou moins prononcée.

C'est également en partant de ce fait qu'il est possible de purifier les substances analogues au sucre par des cristallisations successives. Les cristaux ne retiennent jamais en effet qu'une petite partie du liquide et, par une dissolution et une cristallisation nouvelles, ils se purifient en laissant dans le reste de la liqueur, dans l'eau-mère, la majeure partie de leurs impuretés.

Il suit de là que les gros cristaux contiennent proportionnellement plus d'eau-mère et que l'on obtiendra le sucre (comme le salpêtre ou l'alun), d'autant plus pur qu'on l'aura séparé sous forme de cristaux plus petits. A ce titre, le raffiné à grains fins devra toujours être plus pur que le sucre candi à gros grains, si blanc qu'il soit. Du moins, Baudrimont cite à l'appui de cette hypothèse (page 86) que du sucre cuit à feu nu et mouvé suivant l'ancienne méthode pour donner du grain fin, polarisait à 27°,5 à droite, tandis que du sucre de la même cuite, mais laissé sans mouvage dans les formes et par suite en plus gros cristaux, n'accusait que 26° au polarimètre.

En dehors du liquide interposé mécaniquement entre leurs molécules, beaucoup de cristaux, en se formant, se combinent avec une certaine quantité de ce liquide qui passe avec eux à l'état solide. Ainsi, certains sels, en cristallisant, retiennent de l'eau en combinaison chimique; cette eau prend le nom d'eau de cristallisation.

2. Les forces dont nous avons parlé plus haut, qui font que les particules des corps s'assemblent suivant certaines directions déterminées et suivant des formes géométriques se désignent sous le nom de forces de cohésion. Elles agissent en sens inverse de la chaleur. Dans certaines conditions, pour un métal, par exemple, la chaleur produit directement le passage à l'état liquide. Dans d'autres cas, pour les dissolutions aqueuses, par exemple, la chaleur est encore indirectement la force qui liquéfie les matières solubles. Il suffit, pour le comprendre, de se rappeler qu'à 0° l'eau se solidifie en abandonnant 79 calories.

Réciproquement, il résulte de ce qui précède que, si des corps solides sont dissous dans l'eau, le passage de la dissolution à l'état de vapeur se fera moins facilement que pour de l'eau pure. Aussi, les dissolutions entrent en ébullition à des températures d'autant plus élevées que l'eau a plus d'affinité pour les substances dissoutes. Si cette affinité est constante, le point d'ébullition est aussi stationnaire; si au contraire l'affinité croit avec la température, le point d'ébullition va s'élevant dans la même proportion. Ainsi, une solution entièrement saturée de chlorure de sodium bout à 108°, une dissolution de salpêtre à 116°, tandis que les dissolutions aqueuses de sucre et d'autres corps ont un point d'ébullition de plus en plus élevé à mesure qu'elles se concentrent.

3. La chaleur augmente l'action de dissolution de l'eau pour la plupart des matières solubles. Si donc on laisse refroidir une dissolution chaude et saturée, il se déposera en général des cristaux, par suite de l'excès de matières solides dissoutes dans l'eau chaude et qui, à une température plus basse, ne peuvent plus rester dissoutes dans la même quantité d'eau. Si donc, prenant une dissolution faible, on lui enlève par l'évaporation assez d'eau pour qu'elle soit saturée dans le refroidissement, il devra se déposer des cristaux, puisque les matières solides ne retrouvent plus la quantité d'eau qui leur serait nécessaire pour rester à l'état liquide. L'évaporation et la cristallisation des jus sucrés nous fournissent un exemple de

ce phénomène dont l'application constitue également l'art de la cuite en candi.

Le pouvoir de cristallisation n'est pas le même pour les dissolutions pures ou impures. Dans les liquides visqueux et troubles, dont l'impureté est pour ainsi dire mécanique, les cristaux se déposent plus gros et sous une forme différente de celle qu'ils affectent avec des dissolutions claires. En même temps, et comme nous l'avons déjà signalé, les impuretés mécaniques sont en partie englobées dans les cristaux. D'après Pasteur, pour beaucoup de corps, les cristaux tendraient à se développer en largeur dans les dissolutions pures, en longueur pour les autres. D'après Baudrimont, pendant que le sucre se sépare d'une dissolution aqueuse sous forme de cristaux rhomboëdriques, il donnerait des cristaux tout différents avec une solution alcoolique.

Les données générales que nous venons de rappeler suffisent, si on y joint la table de la solubilité du sucre dans l'eau à diverses températures, pour faire comprendre la cristallisation du sucre et pour apprécier en connaissance de cause les méthodes à suivre pour ce travail.

4. Dans la plupart des ouvrages, on admet d'habitude que le sucre est soluble à froid dans le tiers de son poids d'eau, et qu'à chaud il se dissout en toute proportion. Comme on a cherché à la faire voir ailleurs, *(Sénat. docum. n° 165. 2e session, 28e congrès)*, cette donnée ne saurait être absolument vraie, si du moins on entend par eau chaude l'eau bouillante à 100°. Si l'on chauffe une dissolution sucrée contenant par exemple 66 % de sucre, cette dissolution entre en ébullition à 107°,5. A cette température, l'affinité de l'eau pour le sucre a augmenté et dans une proportion telle, qu'au lieu de se séparer sous forme solide comme dans l'exemple précédent, le sucre qu'abandonne l'eau évaporée demeure retenu par le reste du liquide. La liqueur se concentre davantage et son point d'ébullition s'élève. En poursuivant l'évaporation, on développe encore l'affinité du liquide pour le sucre et le point d'ébullition continue à monter, sans qu'on puisse poser de limite déterminée pour cette marche ascensionnelle, ou sans qu'on

puisse trouver de point de saturation. Seulement, quand on poursuit l'évaporation jusqu'à ce que la température atteigne 132°, le sirop devient si sec et si visqueux que, par le refroidissement, les particules de sucre ne peuvent plus se séparer sous forme de cristaux et toute la masse se prend à l'état amorphe et transparent.

C'est à cet état qu'on trouve le sucre dans les confiseries sous le nom de sucre d'orge. Cependant, la masse ainsi solidifiée vers 132° n'est pas entièrement dépouillée d'eau, car sa composition correspond à 10 % d'eau et 90 de sucre.[1] Pour chasser cette dernière proportion d'eau il faut employer des températures auxquelles le sucre lui-même ne saurait résister.

Du reste, à cette température de 132°, si le sucre ne peut cristalliser, la seule raison en est dans la sécheresse et la viscosité de la dissolution. Il suffit, pour s'en convaincre, d'observer le changement caractéristique qui se produit par la suite dans la structure intime du sucre ainsi préparé. Au moment où il vient d'être obtenu, le sucre d'orge est en effet transparent et clair; au bout de quelque temps, il devient opaque et mat. Ce changement, si on l'étudie au microscope, parait être la conséquence d'un commencement de cristallisation qui se propage de l'extérieur vers l'intérieur. D'après Dumas, ce phénomène s'expliquerait par une perte de chaleur latente. M. Culloch, au contraire, parait plutôt disposé à admettre qu'il est dû à l'évaporation lente d'une nouvelle portion d'eau. Quoiqu'il en soit, le fait est indiscutable en lui-même et bien connu; on a cherché à conserver au sucre ainsi préparé sa transparence et sa clarté en ajoutant un peu de vinaigre ou de jus de citron qui transforme pendant la cuite une partie du sucre en sucre incristallisable. Cette addition parait effectivement produire pendant un certain temps l'effet cherché.

5. Si, au lieu de pousser la concentration jusqu'à 132°, on l'interrompt vers 112°, une grande partie du sucre se sépare

---

1) La table de Dutrone donne, pour la composition de la masse à 132°, 95,2 % de sucre et 4,8 % d'eau (W.).

pendant le refroidissement en grains distincts. A cette température la masse contient, sur 100 parties de sucre, 19 d'eau. En refroidissant, cette eau retient à peu près le double de son poids de sucre, soit 38 parties, et forme une dissolution saturée ou sirop, pendant que les autres 62 parties de sucre se séparent sous forme de cristaux dont il est facile d'enlever le sirop (voir la table de Dutrone § 7). C'est dans l'art d'atteindre ce résultat d'une manière complète que consiste la plus grande partie du savoir du cuiseur.

6. Dans la cuite du candi, on emploie généralement le thermomètre pour prendre les dernières preuves. Dans d'autres fabriques, on attache plus de confiance à certains signes ou caractères qu'on désigne sous le nom de "preuves" et qu'une longue expérience permet seule de prendre exactement. Selon beaucoup de fabricants, le thermomètre aurait l'inconvénient de ne pas indiquer assez vite les changements du liquide; d'autre part, les dissolutions de sucre à différents états de pureté accuseraient, pour le même degré de cuite, des températures différentes.

Quelque fondées que soient ces objections des praticiens, elles perdent toute importance si l'on se borne à employer le thermomètre comme auxiliaire des autres preuves. La température constitue toujours un moyen facile de s'assurer qu'on approche du point voulu; même pour des dissolutions impures le thermomètre n'est pas complètement inutile, tandis que, pour les dissolutions pures, il donne des indications d'une exactitude rigoureuse sur la cuite. Quant au défaut de sensibilité qu'on lui reproche, cette objection est assez étrange pour un instrument qui peut être construit aussi sensible qu'on le veut. L'usage du thermomètre est donc avantageux pour la cuite au candi aussi bien dans les appareils de cuite dans le vide que pour les autres chaudières, même employé concurremment avec les autres preuves; il fournit d'utiles indications et facilite d'ailleurs les rapprochements ou les comparaisons. A ces divers titres, les fabricants ne devraient jamais omettre de noter les températures de cuite.

7. Dutrone, l'un des plus anciens auteurs d'un traité sur la fabrication du sucre, avait entrepris, dès 1790, des expériences et dressé une table indiquant, pour chaque degré de température, le degré correspondant de concentration de la masse. Cette table peut, aujourd'hui encore, rendre d'utiles services. Dutrone dissolvait 50 k^es^ de sucre dans 30 d'eau, en admettant qu'à 81°,5 Fahrenheit (27°,5 C.), 3 parties d'eau et 5 de sucre donnaient une dissolution saturée. Il obtint ainsi les chiffres suivants:

Degré du Thermomètre		Taux % d'eau		Taux % de sucre	
Fahrenheit.	Centigrade.	évaporée.	restant dans la dissolution.	cristallisé.	en sirop.
219°	103°,89	0	100	0	100
221°	105°,00	8	92	8	92
223°	106°,11	19,3	80,7	19,25	80,75
225°	107°,22	30	70	30	70
228°	108°,89	40,7	59,3	41	59
230°	110°,00	52	48	52	48
232°	111°,11	56,3	43,7	56	44
235°	112°,78	60,3	39,7	60,3	39,7
237°	113°,89	63,4	36,6	63,25	36,75
239°	115°,00	65,4	34,6	66,2	33,8
241°	116°,11	69,9	30,1	69,15	30,85
243°	117°,22	72,1	27,9	72,05	27,95
246°	118°,89	75	25	75	25
248°	120°,00	77,45	22,55	77,55	22,45
250°	121°,11	81,5	18,5	80,3	19,7
252°	122°,22	83,5	16,5	83,2	16,8
255°	123°,89	85	15	85	15
257°	125°,00	87	13	87,25	12,75
259°	126°,11	88,5	11,5	88,4	11,6
261°	127°,22	90,1	9,9	90,05	9,95
264°	128°,89	92	8	91,25	8,75
266°	130°,00	92,9	7,1	92,45	7,55
268°	131°,11	94,1	5,9	94,1	5,9
270°	132°,22	95,3	4,7	95,2	4,8
273°	133°,89	97,35	2,65	97	3
275°	135°,00	98,2	1,8	98,1	1,9
277°	136°,11	99,15	0,85	99,1	0,9
280°	137°,35	100	0	100	0

La troisième et la cinquième colonne de cette table devraient être identiques, de même que la quatrième et la sixième. Les différences que l'on constate sont dues à de petites erreurs dans les observations expérimentales, et constituent d'ailleurs la meilleure preuve du soin apporté par Dutrone dans ses recherches.

8. Pour les chaudières ouvertes où l'on cuit les candis, aucun instrument autre que le thermomètre ne pourrait fournir la dernière preuve. La lecture des degrés et la prise des preuves par un cuiseur expérimenté constituent les seuls éléments dont on dispose pour déterminer le moment favorable à la vidange de la chaudière. Quant aux aréomètres, qui se prêtent très-bien aux liquides plus fluides, ils ne rendent plus aucun service pour les dissolutions arrivées à cet état de concentration. Les preuves pratiques et les autres indices extérieurs ont d'ailleurs une valeur plus ou moins grande, suivant que le cuiseur a le coup-d'œil plus ou moins juste.

9. Les preuves, dans la cuite, pourraient se classer dans l'ordre suivant:

a) *Preuves au toucher*. — Elles sont connues, avec plus ou moins de modifications, de tous les fabricants de sucre de l'ancien et du nouveau monde. Dans le Dictionnaire de l'Industrie (Paris 1841), ces preuves successives sont définies comme suit:

1. Les gouttes placées entre les doigts se séparent. — Celle qui reste sur le pouce est la plus grosse.

2. Les deux gouttes sont égales ou à très-peu près, et ne séparent pas avant qu'on n'écarte les doigts.

3. En augmentant l'écartement des doigts, il se forme un fil qui se brise en bas.

4. Le même phénomène ne se produit que pour un écartement plus grand. — Le fil remonte vers le haut.

5. Le filet ne se brise que pour une très-grande ouverture des doigts. — Il remonte en se courbant sans rejoindre la goutte supérieure.

6. Le filet ne se rompt plus.

En Amérique, on se sert généralement de la preuve désignée sous le N° 5, qui correspond à une température de 113°,3 (236° Fahrenheit). — En France, on emploie diverses dénominations techniques: preuve au perlé, — à la plume, — faire le fil, — le fil se rompt, — preuve à la dent, — preuve à l'eau, — preuve à la boule.

b) *Preuves à l'écumette.* Elles sont très employées en Amérique. On plonge une cuillère ou l'écumette dans la dissolution et, d'après la manière dont la dissolution coule ou égoutte, on estime le degré de concentration. La présence d'une granulation fine dans le liquide qui tombe correspond à la preuve la plus élevée. Si le sirop est un peu moins concentré, il coule en masse, il fait la toile. Enfin, pour des dissolutions faibles, le liquide tombe en faisant la goutte.

c) *Preuves au soufflé.* On plonge dans la chaudière une écumoire percée de trous; après l'avoir secouée de façon à enlever les écumes, on l'éloigne des vapeurs et on souffle dessus. Il se forme à chaque trou des bulles sphériques de 12 à 15$^{m.m}$ de diamètre. Moins la liqueur est concentrée, plus les bulles sont petites et mieux elles se séparent; plus la preuve est forte et plus les bulles sont grosses et solidaires.

On dit que la cuite fait goutte, lorsqu'il ne se forme pas de bulles, mais des gouttes qui tombent une à une. Elle fait la chaîne, lorsqu'il se forme une série de bulles soudées les unes aux autres. La preuve est la plus forte possible lorsque les bulles soufflées sur un objet froid et sec, s'y attachent sans s'aplatir.

10. Dumas, dans son Traité de Chimie appliquée aux arts, donne deux tables qui indiquent, pour les diverses preuves, le rapport entre le sucre et l'eau dans la masse cuite. Il est clair toutefois que, ces preuves dépendant essentiellement de l'appréciation personnelle de l'ouvrier, les résultats ne peuvent pas être partout identiques. Aussi, tant que, sous le nom d'une même preuve, ou comprendre des limites trop étendues pour une observation exacte, les tables de ce genre n'auront que peu de valeur pratique et pourront tout au plus donner des indications approchées.

Sucre.	Eau.	Nom de la preuve.
95,75 %	4,25 %	Grand cassé
92,67 %	7,33 %	petit cassé
91 %	9 %	grand soufflé
89 %	11 %	petit soufflé
88 %	12 %	crochet fort
87 %	13 %	crochet léger.

11. Dans le vide, la température n'est pas toujours en proportion exacte avec le degré de concentration. Le thermomètre monte rarement au delà de 78°. A cette température, l'eau dissout environ 4 fois son poids de sucre. Le liquide s'évaporera donc jusqu'au moment où ce rapport sera atteint et où la solution sera saturée. La concentration prolongée plus loin ne pourrait servir qu'à séparer le sucre sous forme de cristaux, comme il arrive, ou du moins comme il devrait arriver, dans la cuite en grains des raffinés ou du sucre brut. On voit donc que les considérations théoriques mettent en évidence ce qu'a de rationnel cette méthode de cuite, dans laquelle on peut séparer la plus forte proportion possible de sucre cristallisable.

Dans la fabrication du candi, au contraire, il ne peut être question que d'une concentration dans le vide, et cette concentration, comme nous le verrons plus loin, ne doit pas dépasser une certaine limite et doit rester notablement en dessous du point de saturation. Le degré de concentration est donc, par cela même, toujours en rapport avec les indications du thermomètre.

Si, en effet, on maintient un bon vide dans l'appareil, le sucre n'arrive à 80° qu'au moment où la dissolution est saturée. Si on tient le vide plus faible, la température s'élève naturellement jusqu'au point de saturation et elle s'élève plus ou moins suivant que le vide est plus ou moins bon. On peut donc cuire à une température quelconque, et, en réglant injection d'eau au condenseur, on est entièrement maître du vide. Aussi, a-t-on coutume de régler l'injection d'eau, pour la cuite du candi dans le vide, de façon à maintenir le vide à 42° seule-

ment, tandisqu'on va à 63° pour la cuite des mélis. Dans ces conditions, et tant que le point de saturation n'est pas atteint, la température correspond au degré de concentration. Comme d'ailleurs la cuite doit être terminée avant saturation, il est clair que, pour la fabrication du candi, les degrés accusés par le thermomètre sont dans un rapport étroit avec les preuves.

12. Ure a relevé comme suit les points de cuite correspondant aux divers degrés de pression dans l'appareil.

Température		Pression	Température		Pression
Fahrenheit.	Centigrade.	en pouces.	Fahrenheit.	Centigrade.	en pouces.
120	48°,8	3,096	150	65°,6	7,065
125	51°,6	3,593	155	68°,4	7,967
130	54°,4	4,096	160	71°,2	9,007
135	57°,2	4,756	165	74°	10,13
140	60°	5,413	170	76°,8	11,31
145	62°,8	6,142	175	79°,6	12,74

13. La fabrication du candi met en évidence, de la façon la plus nette, l'effet d'une cristallisation lente et tranquille, comme l'influence, pour le développement des cristaux, d'un noyau préexistant.

Comme nous l'avons déjà remarqué § 11, le sirop est d'abord cuit rapidement, comme d'habitude, jusqu'à ce que le thermomètre marque de 95 à 97° suivant la nature du produit et la preuve qu'on veut obtenir. Le sirop est concentré à un vide de 50^c qu'il est facile de maintenir constant en agissant sur la quantité d'eau de condensation. — Le sirop doit arriver à la cuite aussi vite et à une température aussi élevée que possible; avant tout, il doit former glace et être net. — Le travail doit être poussé vivement, jusqu'à ce que l'élévation progressive du thermomètre annonce qu'on approche de la preuve. Si le thermomètre et l'état du vide ne pouvaient être mis d'accord, on aurait à choisir par des essais le point le plus convenable; par exemple, un vide de 54 cent. et une température de 90°

donneraient le même résultat. Toutefois, il est toujours préférable d'employer des températures plus élevées.

La preuve de candi faible est la preuve au crochet. Le filet doit être assez délié pour un écartement moyen des doigts et il doit se rompre vivement, en formant crochet. Ce point indique le moment où il faut faire couler la masse de l'appareil de cuite dans la chaudière qui fait office de réchauffeur. Dans les fabriques de sucre de betteraves, on peut employer à cet usage une bassine à évaporer.

Les sucres bruts de betteraves sont ceux qui produisent les plus beaux candis; ils sont sains, nerveux et assez alcalins pour donner des cristaux nets, clairs et translucides. Le seul inconvénient est que le candi de betteraves ne peut avoir une nuance au delà du jaune foncé sans coloration artificielle. Lorsqu'on veut lui donner la teinte jaune brun (roux), on ne peut éviter qu'il prenne un petit goût. Mais, en dehors de cette difficulté, les cristaux sont plus nerveux et plus beaux qu'avec tout autre sucre. Lorsqu'on emploie du sucre des colonies, il faut neutraliser soigneusement toute trace d'acide avec de l'eau de chaux; il convient en outre d'ajouter une quantité de sang assez forte, pour donner aux produits de la pureté et de la transparence. Autrement, les cristaux sont opaques et l'on n'obtient que des candis inférieurs comme aspect et comme vente. La cuite de ces sortes de sucres n'offre d'ailleurs aucune difficulté si l'on observe les indications données plus haut.

La masse saccharine concentrée dans le vide est réchauffée vivement dans les chaudières de candi, jusqu'à ce que le thermomètre marque 112 à 115°, et même en Amérique 120° (245° Fahr.). La température à laquelle doit être portée la masse se détermine d'ailleurs par des essais ou des preuves variant avec chaque pays et pour chaque sorte de sucre, de façon à réaliser les conditions de travail les meilleures. Suivant les pays, on doit prendre, ou plutôt on devrait prendre, des preuves différentes. En Allemagne, le point le plus convenable est le petit soufflé. Les bulles de l'écumette doivent être au nombre de 3 ou 5 distinctes, lorsque l'on souffle fortement en

dehors du courant de vapeurs. Il est rare, sauf pour les sucres de l'Inde, qu'on ait besoin d'atteindre une preuve plus forte. A la preuve au crochet, il doit se former un filet mince qui se rompt bientôt et se recourbe en crochet. Le même phénomène doit aussi se produire lorsqu'on laisse égoutter la masse des bacs, et c'est un point que les cuiseurs renommés de Hombourg observent soigneusement.

Nous ajouterons encore que les preuves doivent être tenues d'autant plus légères que le sirop concentré est plus pur, et les produits mis en œuvre de meilleure qualité. La preuve doit être plus forte lorsqu'on traite des sucres ordinaires ou plus chargés de matières étrangères. Le motif en est simplement que les dissolutions sucrées ont un pouvoir de cristallisation proportionnel à leur état de pureté et que, si elles sont pures, elles peuvent se résoudre en gros cristaux plus facilement, même avec une preuve plus faible.

La mise en terrines du candi doit se faire très-rapidement, pour éviter tout refroidissement, et avec un soin minutieux. On emploie pour ce travail des bacs à anse ordinaires, comme pour les mélis. Les ouvriers portent ces bacs pleins jusqu'à l'étuve où un homme exercé (l'emplisseur) les reprend pour en vider le contenu soigneusement et en lame mince au milieu de la terrine. Lorsqu'une terrine a reçu la charge voulue, l'ouvrier relève vivement le bac sans laisser perdre une goutte de sirop, pour passer à la terrine suivante.

Les terrines pleines s'ont immédiatement empilées sur de fortes planches mobiles qui remplacent le plancher lit de pains des étuves à mélis. Ces sortes d'étagères sont ordinairement fixées sur trois tréteaux, de façon à se tenir debout sans se toucher mutuellement. Comme, après l'emplissage, un repos absolu est nécessaire pour produire de beaux cristaux, on doit éviter avec soin tout choc, toute agitation ou tout égouttage des vases. Sans cette précaution, on n'obtiendrait qu'une cristallisation en masses, partielle et irrégulière. Un fait intéressant à noter, c'est que si, par accident, on a heurté une terrine, un choc violent sur le fond du vase assure à nouveau le succès du travail.

L'addition d'eau dans les chaudières à réchauffer doit être autant que possible évitée, attendu que cette eau ne se mélange pas assez vite d'une manière uniforme avec la masse cuite trop concentrée. Au début de ce chapitre, nous avons déjà signalé que, dans des dissolutions en repos, la cristallisation se fait surtout vers le fond et ne se produit pas uniformément dans toute la masse. Il en serait a fortiori de même dans le cas où, par suite même de l'addition de l'eau, on ne pourrait opérer qu'un mélange très-imparfait. On n'obtiendrait alors que des fonds très-épais, et des branches de cristaux soudées les unes aux autres. Une addition d'eau ne peut être utile que quand l'emplissage des terrines se fait trop lentement et qu'on s'exposerait, en laissant la masse chauffer trop longtemps, à dépasser le point de concentration voulu. Dans ce cas, un peu d'eau corrige cet inconvénient, mais il vaut toujours mieux s'arranger de façon à ne pas aller au delà de la concentration convenable.

Dans la cristallisation du candi, la température exerçant une grande influence, il est bon que l'étuve soit déjà à 30° avant l'emplissage, pour prévenir le refroidissement et, comme conséquence, une cristallisation trop rapide et en petits cristaux. De même, on doit éviter tout courant d'air pendant l'emplissage des pots. Une fois l'étuve pleine, on porte sa température à 50 ou 60° (38 seulement d'après M. Culloch), en observant un thermomètre dont la tige traverse la muraille et passe à l'extérieur. On ferme alors avec soin les portes et toutes les ouvertures, en mastiquant ou calfeutrant les joints, de façon à empêcher toute circulation d'air qui déterminerait un refroidissement trop rapide. L'étuve reste ainsi fermée pendant 8 ou 10 jours, temps pendant lequel elle se refroidit lentement.

Beaucoup de praticiens attachent une grande importance à laisser l'air de l'étuve saturé d'une forte dose d'humidité. Dans ce but, avant de fermer l'étuve, ils répandent sur le plancher de l'eau, qui s'évapore lentement et sature l'atmosphère confinée de la salle. Selon toute apparence, la présence de ces vapeurs d'eau contribue à rendre plus lente et plus faible l'évaporation des sirops sucrés ce qui rallentit la cristallisation et la rend

plus belle. En tout cas, c'est une opinion partout admise que les étuves à candi nouvellement construites donnent les plus beaux cristaux.

D'après Payen, la grandeur des terrines influerait sur la grosseur des cristaux: plus les terrines seraient grandes, plus les cristaux seraient beaux. De même, en recouvrant légèrement les cristallisoirs, on empêche l'évaporation et par suite la cristallisation d'être trop rapides et on donne naissance à de plus beaux produits.

Au bout de 8 ou 10 jours, l'étuve s'est refroidie à 35°. On en sort le candi, on perce la croûte légère cristalline qui s'est formée à la surface et, en renversant les pots, on fait égoutter le sirop dans un réservoir muni d'un grillage qui rétient les cristaux pendant que le sirop est recueilli en dessous. On procède alors au rinçage du candi, c'est-à-dire qu'on lave les cristaux. A cet effet, on emplit les terrines d'eau de chaux très-faible et un peu tiède. On agite, de façon à enlever le sirop adhérent aux cristaux, puis on fait écouler l'eau. Les pots sont alors mis renversés dans l'étuve, de façon que l'eau de rinçage et le sirop restés puissent égoutter dans de petites écuelles. Ce séchage exige une température de 44 à 50°. Les eaux de rinçage ne doivent pas être employées froides, car on s'exposerait à faire éclater les cristaux. D'un autre côté, de l'eau trop chaude aurait l'inconvénient d'enlever au produit sa transparence. Au bout de deux jours, lorsque les cristaux sont secs, ce que l'on reconnait facilement à leur teinte, et que l'étuve est refroidie à nouveau, les terrines sont reprises et vidées ou lochées. A cet effet, on les place par leur plus large base sur une pierre de dimensions convenables, et un ouvrier frappe sur le fond avec un morceau de bois jusqu'à ce que tout le sucre se détache. On enlève alors la terrine en cuivre en retournant le pain, par un tour de main particulier. Lorsque les cristallisoirs sont en plusieurs pièces, il suffit, pour retirer tout le sucre sans difficulté et en un seul morceau, de défaire les attaches extérieures. — En Amérique, on arrive au même résultat en plongeant pendant quelques instants les ter-

rines jusqu'au bord dans de l'eau chaude. On échauffe ainsi seulement la couche extérieure, ce qui facilite de lochage. Le sucre candi ainsi retiré de son enveloppe métallique est séché légèrement, ce qui ne prend pas plus d'un jour, et livré au commerce.

La fabrication du sucre candi est très-simple. Elle rapporte au fabricant de beaux bénéfices, attendu que les prix se maintiennent toujours élevés, que le travail n'exige pas grande peine et comporte l'emploi de sucres ordinaires. Le rendement est de 50 à 60 %. Le sirop qu'on retire des cristallisoirs peut encore fournir de beaux mélis.

Il nous reste, pour terminer, à ajouter quelques mots sur le travail qu'exigent les cristallisoirs. Une fois qu'ils ont servi, ces vases doivent être nettoyés au sable et à la cendre s'ils sont en cuivre, ou lavés s'ils sont en métal émaillé. Les terrines sont ensuite montées, c'est-à-dire qu'on fait passer par des trous ménagés sur leurs parois un gros fil qu'on assujettit à l'extérieur. On ferme ensuite tous les trous, soit en les lutant un à un, soit en collant dessus une bande de papier. Les terrines sont alors prêtes à servir.

Livre VIII.

INSTALLATIONS ET DONNÉES GÉNÉRALES.

Chapitre I.

Installation d'une fabrique de sucre.

De l'installation des appareils.

Jusqu'ici, les fabriques de sucre de betteraves ont été presque toujours établies par des constructeurs de machines, qui croyaient avoir une expérience suffisante de cette industrie, et qui n'étudiaient le plus souvent leurs projets qu'au point de vue de la partie mécanique de la fabrication. Beaucoup d'insuccès, de pertes pécuniaires, ont été la conséquence de ce mode d'agir. Il est en effet arrivé maintes fois que ceux qui dressaient les projets, si habiles qu'ils fussent dans la science des machines ou de la construction, n'avaient étudié que très-superficiellement les conditions essentielles de la fabrication. J'en ai vu en Russie, en 1862, un des exemples les plus frappants. Un anglais, excellent constructeur, de machines d'ailleurs, avait entrepris l'installation d'une nouvelle fabrique sans connaître à fond les conditions du travail sans même posseder les notions fondamentales nécessaires. Le résultat fut une leçon coûteuse et pour le propriétaire de l'usine et pour le constructeur.

Au début, ces échecs n'avaient rien d'étonnant: l'industrie de sucre, de création toute récente, n'avait pas encore d'hommes spéciaux ou d'ingénieurs habiles réunissant les connaissances voulues. Maintenant au contraire, il est parfaitement possible de construire des fabriques à beaucoup moins de frais, et avec toute garantie de bonne marche. C'est pour entrer dans cet ordre d'idées, que j'ai réuni ci-après quelques données, résultat d'une longue expérience pratique, et qui, à ce titre, peuvent être utiles au fabricants.

Les indications qui suivent peuvent servir, non seulement pour des constructions nouvelles, mais pour améliorer d'anciennes installations. Pour plus de simplicité, nous suivrons la marche successive des travaux, sauf à répéter parfois quelques-uns des détails déjà donnés dans le cours de l'ouvrage.

Comme point de départ de tous nos calculs, nous admettrons que l'usine doit travailler 50,000 k^os^ de betteraves en 22 heures, 2 heures par jour suffisant amplement, pour les changement de postes, les nettoyages, etc.

Une fabrique installée dans ces conditions pourra travailler dans une campagne de 120 jours 600,000 k^mes^, et au besoin 7,500,000. Elle rentre donc dans le cas des fabriques de moyenne grandeur.

La première opération, après le lavage et le nettoyage des betteraves, est la râperie.

Pour râper 50,000 k^mes^ sans difficulté tout en ayant une pulpe assez fine pour donner le maximum de rendement en jus, on doit donner au tambour de la râpe 1^mc^,35 à 1^mc^,40 de surface, soit, pour un diamètre de 0^m^,65, une longueur de 0^m^,66 à 0^m^,70 environ. Dans ces conditions, et pour déchirer ainsi complètement que possible les cellules, la râpe n'a besoin de faire que 650 à 800 tours par minute, ce qui correspond à une surface développée par minute de 850 à 1000 mètres carrés.

Beaucoup de fabriques, il est vrai, ne travaillent qu'avec 0^mc^,65 de surface de tambour, et cherchent à obtenir une pulpe plus fine en donnant à la râpe une plus grande vitesse, 1000 tours par exemple par minute. Mais, le plus souvent, elles

n'ont, comme degré de finesse de la pulpe et comme rendement en jus, que des résultats notablement inférieurs à ceux des usines où l'on dispose à la râpe d'une plus grande surface de tambour.

D'autre part, une trop grande vitesse de la râpe présente de nombreux inconvénients dans la marche. Les arbres et les coussinets s'échauffent facilement; le redressage des lames doit être plus fréquent, leur service moins prolongé, les réparations plus nombreuses. Une vitesse moindre offre donc beaucoup plus de garanties pour le fabricant. D'ailleurs, elle permet, en cas de besoins, d'augmenter le travail de l'usine par un simple changement des poulies de commande. D'un autre côté, les dispositifs adoptés pour engager les betteraves sous la râpe, les poussoirs, doivent se mouvoir assez lentement. Il convient qu'ils ne donnent pas plus de 4 coups à la minute, soit $^1/_{200}$e de la vitesse du tambour. Si les poussoirs marchent plus vite, les betteraves seront trop fortement pressées, et la pulpe plus grossière qu'elle ne doit l'être.

La force nécessaire pour faire marcher une râpe varie suivant la quantité de pulpe à produire. D'après les observations que j'ai pu faire, on peut compter 1 cheval-vapeur pour 11,000 k^{os} de betteraves mis en œuvre en 24 heures. Par suite, pour une mise en œuvre journalière de 50,000 k^{os}, il faudra $4^1/_2$ ch. environ de travail effectif, soit 9 ch. nominaux, les machines ne donnant en général comme travail effectif que la moitié de leur force théorique ou nominale. Le travail consommé à la râpe varie d'ailleurs naturellement un peu, suivant l'état des betteraves, leur teneur en eau etc.; l'angle plus ou moins aigu sous lequel les racines rencontrent le tambour a également une certaine importance.

La donnée, pour ainsi dire stéréotypée, que 4 chevaux suffisent pour une râpe est évidemment inexacte, car la force nécessaire dépende nécessairement de la quantité de travail que l'appareil doit fournir. Ainsi, une râpe qui réduit en pulpe 75,000 k^{os} de betteraves consommera plus de force qu'une râpe de mêmes dimensions ne travaillant que 50,000 k^{os} dans le

même laps de temps. Mais, ainsi qu'il a été dit plus haut, la comparaison de diverses fabriques m'a amené à constater qu'un cheval effectif, (ou 2 chevaux théoriques), pouvait réduire en pulpe de 10,500 à 14,000 k^{os} de betteraves par jour suivant que les lames sont plus ou moins aigues, les betteraves plus ou moins grosses, plus ou moins propres. C'est d'après cette base que j'ai indiqué ci-dessus le rendement moyen de 11,000 k^{os} pour qu'on soit toujours assuré de marcher dans de bonnes conditions, et d'avoir une machine de force suffisante.

Il suit de là que, pour un travail journalier de 165,000 k^{os} par exemple, il faudra 30 chevaux théoriques, ou 15 chevaux de force réellement disponible.

Nous rappellerons ici comment on évalue la force théorique ou nominale d'une machine à vapeur, dans le système de l'amirauté anglaise suivi par la plupart des constructeurs étrangers.[1]

On exprime la pression de la vapeur en livres par pouce carré, et on multiplie ce chiffre par la surface en pouces du piston, et par la vitesse de ce même piston par minute exprimée en pieds. — Le produit de ces 3 facteurs est divisé par 33,000, (équivalent d'un cheval-vapeur en pieds-livres, mesure anglaise). Le quotient est la force nominale ou théorique de la machine.

En prenant la moitié de ce chiffre, on a le plus souvent la mesure exacte de la force effective de la machine. Toutefois, comme les machines peuvent avoir des coëfficients d'effet utile très-différents, nous nous bornerons toujours, dans ce qui suit, à donner la force nominale.

Dans ces conditions, il faudra, pour râper 50,000 k^{mes} de betteraves par jour, une force nominale de 9 ch.-vap.

Passons maintenant à la production du jus par les presses hydrauliques. D'après les considérations développées dans le chapitre relatif à ces ustensiles, nous avons constaté que les

---

1) En France et en Belgique, les constructeurs s'engagent le plus souvent à livrer des machines fournissant une force réelle de . . . chevaux-vapeur, mesurée sur l'arbre du volant. (N. du Tr.)

grandes presses étaient toujours plus avantageuses que les petites. Aussi, ne nous occuperons-nous que des premières. Des sacs de $0^{m},67$ dans tous les sens donnent une surface de $0^{m},45$, soit, pour une hauteur de $0^{m},79$, un volume de pulpe de $0^{mc},35$ pour la charge d'une presse. 1 k^{me} de pulpe déjà pressée préparatoirement au rouleau représente un volume de $1^{l},16$; on voit donc que chaque charge de la presse contiendra 307 k^{mes} environ de pulpe mise en sacs, ou, en nombres ronds, 300 k^{os}. Si l'on admet que la pression doive durer 30 minutes, par exemple, (temps que chaque fabricant peut modifier à sa guise), une presse pourra donner deux pressions par heure. Elle suffira donc pour 600 k^{mes} de pulpe par heure, soit 13,200 k^{os} en 22 heures. Pour tenir compte de toutes les petites pertes de temps inévitables dans le travail, nous réduirons ce chiffre à 12,500 k^{os}.

Il suffira donc, pour une mise en œuvre journalière de 50,000 k^{os}, de 4 presses en tout.

Il faut, pour chaque presse, un jeu de pompes qui se compose, soit d'une grosse pompe et d'une petite, soit de 3 pompes isolées. Examinons la force nécessaire pour le travail mécanique de la pression.

Pour extraire le jus d'une manière satisfaisante, on a besoin d'une pression minimum de 180 à 200 atmosphères, soit 180 à 200 k^{os} par centimètre carré du piston. La force à développer doit donc être assez grande pour vaincre sûrement et rapidement cette résistance.

Plaçons-nous dans le cas le plus défavorable, et admettons que le piston de la petite pompe ait $0^{m},027$ de diamètre. La surface de ce piston sera de $5^{c},47$ et la pression totale à exercer sur cette surface sera de $5,47 \times 200 = 1,094$ k^{os}. Admettons que la course du piston soit de $0^{m},08$ et que la pompe donne 40 coups par minute. Le travail à produire par minute aura pour expression $1094 \times 0,08 = 40$ et le travail par seconde sera $\frac{1094 \times 0,08 \times 40}{60} = 58^{kgm},3$. Dans la pratique, on compte $^{3}/_{4}$ de cheval pour des dimensions un peu

plus faibles, et ce travail parait suffisant pour vaincre en même temps les frottements et les résistances qui se produisent dans la pompe elle-même.

Toutefois, cette résistance de 1,094 k^{os} à vaincre à chaque coup ne se produit que 3 ou 5 minutes après le commencement de la pression. Au début, et pendant le tiers de la course du plateau, la pompe n'a besoin de marcher qu'à 50 atmosphères. Les chiffres auxquels nous arrivons expliquent d'ailleurs pourquoi, dans le cas où la machine n'est pas assez forte pour vaincre facilement les résistances, il arrive souvent qu'elle ralentit sa vitesse lorsque plusieurs presses sont à la fois soumises à de fortes pressions. Le fabricant ne devrait donc jamais faire décharger plusieurs presses à la fois, ni les maintenir toutes ensemble à la pression maximum, car il en résulte de très-grandes irrégularités dans la charge de la machine, et celle-ci est exposée, soit à s'emporter, soit à se rallentir, suivant les cas, pour une même pression de la vapeur.

Je crois utile de signaler ici un défaut que j'ai fréquemment observé: dans beaucoup de fabriques, on maintient la grosse pompe trop longtemps en activité. Le travail absorbé dans ce cas dépasse alors de beaucoup celui que nous avons calculé plus haut. Ainsi, on trouve souvent que, pour des pistons de 5^{c} de diamètre, la pompe n'est débrayée qu'à la pression de 100 atmosphères. La surface du piston étant dans ce cas de 18^{cc}, la charge est de plus de 1,800 k^{os}, et en admettant comme plus haut une course de 0^{m},08 et 40 coups par minute, on arrive pour le travail dépensé par seconde 99^{kgm},4 1 ou 1$^{1}/_{3}$ ch., c'est-à-dire notablement plus que pour la petite pompe travaillant à pleine charge. Dans ces conditions, la machine se trouve à certains moments beaucoup trop chargée. Pour éviter cet inconvénient, il convient de régler la charge des leviers de débrayage (voir p. 221 à 225, T. I), d'après le diamètre des pistons, de façon à ce que l'on ne puisse jamais dépasser une limite donnée. Ainsi, dans notre exemple, la charge maximum sur le petit piston étant de 1,094 k^{os} la grosse pompe devrait se débrayer dès qu'elle

atteint cet effort. Si ce point est dépassé, l'injection d'eau trop forté et les chocs transmis par l'eau exposent à la rupture de la presse, d'autant plus qu'un choc brusque est toujours beaucoup plus nuisible qu'une pression permanente, même plus élevée.

Si, en tenant compte des indications et des remarques qui précèdent, nous récapitulons la force nécessaire pour la production du jus, tout à la râpe qu'aux presses, nous arriverons pour un travail journalier de 50,000 k^{os} au chiffres ci-après:

Chaque pompe exige 0,75 ch. réels soit pour 4 pompes 3 ch. réels	3
La râpe absorbe comme nous l'avons vu 4 chevaux et demi, ci	4 ½
Pour le laveur et l'élévation de l'eau nécessaire à cet appareil, on compte 1 cheval et demi, ci	1 ½
Il faut donc pour la production du jus par les presses hydrauliques, en travaillant 50,000 k^{os} par 24 heures une force de 18 ch. nominaux équivalant à . .	9

Les autres modes de production du jus exposés dans le premier volume de cet ouvrage exigent, les uns plus, les autres moins de force. Mais, comme la presse hydraulique est encore jusqu'ici le procédé le plus sur et le plus répandu, nous ne croyons pas devoir refaire ici les calculs pour les méthodes par macération, par turbinage etc. On en retrouvera d'ailleurs les éléments dans les chapitres consacrés à ces divers modes de travail.

Nous passons maintenant au calcul des dimensions des appareils nécessaires pour le traitement des jus.

Pour la défécation, nous admettrons qu'on obtienne comme rendement en jus, le chiffre maximum, 92 % du poids des betteraves. 50,000 k^{os} de betteraves donneront donc 46,000 k^{os} de jus en 22 heures, soit 2,091 k^{os} par heure. Le jus naturel s'altère, comme on sait, facilement, surtout s'il reste quelques temps à la chaleur, dans les conditions par exemple où il se trouve lorsqu'on le chauffe dans les chaudières de défécation. Pour prévenir ces accidents, on a intérêt à travailler le jus

aussi rapidement qu'on le peut, et, à ce point de vue, il convient que chaque chaudière de défécation ne contienne comme jus que la quantité produite en une demi-heure. Ce temps est assez court pour qu'on n'ait pas à redouter d'altération. Or, dans l'exemple que nous avons choisi, la quantité de jus produite par demi-heure est de 1,050 k^{os} environ; le volume de la chaudière jusqu'à la marque de niveau, c'est-à-dire en laissant au-dessus du liquide un vide suffisant, devra donc être de 10$^{hect.}$,5 environ.

Il est vrai que, dans les diverses méthodes de production, on introduit avec ce jus dans les chaudières de défécation une quantité d'eau plus ou moins forte, ce dont nous n'avons pas tenu compte dans le calcul précédent. Mais cela revient simplement, avec 10 % d'eau, par exemple, à reduire de 10 % la durée de l'emplissage d'une chaudière, à l'effectuer en 27 minutes au lieu de 30, et il vaut mieux emplir une chaudière de plus qu'augmenter leur capacité, au moins au point de vue de la conservation du jus.

Les 1,046 k^{os} de jus contenus dans la chaudière doivent être portés à l'ébullition en une demi-heure aussi. Si donc le jus était à 8°, sa température doit s'élever de 102° — 8° ou 94°; il faut par suite lui fournir $1{,}046 \times 94 = 98{,}324$ calories. Si, comme c'est le cas habituel, la chaudière est chauffée par un double fond, on peut admettre qu'un mètre carré de surface de chauffe transmet par heure 40,000 calories, soit 20,000 par demi-heure; il faudra donc approximativement dans le cas actuel que chaque chaudière ait une surface de chauffe de 4^{mc},9.

Avec les doubles fonds, la déplacement de l'air par la vapeur ne s'effectue que difficilement, et l'épaisseur qu'il faut donner à la plaque de cuivre réduit la transmission de la chaleur dans une forte proportion. Il vaut donc mieux employer des serpentins, dans lesquels l'expulsion de l'air se fait beaucoup plus complètement, et dont les parois n'ont besoin que d'une moindre épaisseur pour résister à la pression. Cette double circonstance fait que les serpentins peuvent n'avoir

comme surface de chauffe que 60 % environ de la surface précédente, soit 3^{mc}. Il en résulte une notable économie sur la dépense d'installation, seulement il ne faut pas oublier, qu'avec les serpentins, le nettoyage après chaque opération est plus difficile.

Il arrive quelquefois, même avec des chaudières ayant les surfaces de chauffe calculées plus haut, que le jus ne s'échauffe pas assez vite, s'il contient des substances visqueuses qui se déposent sur les parois et diminuent la transmission de chaleur. Dans ce cas, il convient de mouver fréquemment le jus, de façon à empêcher tout dépôt de matières. Du reste, un mouvement lent ainsi imprimé aux liquides, avec un morceau de bois par exemple, ne peut qu'être avantageux dans tous les cas, pendant la première période de l'échauffement.

Le nombre des chaudières à défequer se trouve déterminé, dans notre exemple, par la durée de l'opération. Nous avons admis qu'une chaudière s'emplissait en 30 minutes. Si l'arrivée du jus se fait régulièrement, on peut commencer à chauffer au bout des 15 premières minutes, et le jus arrive à la température voulue un quart-d'heure après que la chaudière a fini de s'emplir. Si l'on veut faire de bon travail, il faut laisser alors le dépôt se séparer pendant 10 minutes; la vidange de la chaudière dure au plus 30 minutes; enfin, 20 minutes sont nécessaires pour enlever les écumes et nettoyer l'appareil. On voit qu'il s'écoule 105 minutes ou 1^{h}3/4, pour chaque opération, jusqu'au moment où on peut se servir à nouveau de la chaudière. Chaque emplissage durant 30 minutes, il en résulte que, dans l'installation dont nous nous occupons, il faudra prévoir 4 chaudières à défequer.

La défécation terminée, après qu'on a fait écouler le jus clair, il reste dans la chaudière 1/4 ou 1/5^{e} du volume primitif, soit, dans le cas actuel, 260 k^{es} de jus trouble ou d'écumes. Ce résidu doit être mis dans des sacs pour être porté à la presse où le résidu solide se sépare des parties liquides. Chaque sac peut contenir de 7^{k},5 à 10 k^{es} d'écumes de défécation. Il faut donc 26 à 30 de ces sacs en toile ordinaire, qui consti-

tuent le chargement d'une presse. Après pression, le résidu solide représente de 3 à 5 % du jus initial, soit de 30 à 50 k^os par chaudière.

Le travail qui suit la défécation est la saturation. Chaque chaudière à carbonater, dans une bonne installation, doit pouvoir contenir la même quantité de liquide que la chaudière à déféquer; mais, par suite des projections de jus et des mousses dues à l'acide carbonique, on donne aux chaudières à saturer un volume plus grand. Généralement, on prend un volume double de celui qu'on admet à la défécation, soit, dans notre exemple, 21 hectolitres. Il semblerait préférable cependant de faire ces récipients moitié moins grands, sauf à répartir dans deux chaudières à saturation le produit d'une seule défécation.

La saturation de la chaux par l'acide carbonique dure habituellement de 15 à 20 minutes. On compte le même temps pour le débourbage, de sorte que 4 chaudières de 10^hect.,5 suffisent amplement pour le service, sans qu'on soit gêné pour la vidange et le nettoyage.

Le jus défèqué contient souvent 2 fois plus de chaux que l'eau de chaux: 350 p. de jus renferment donc 1 p. de chaux. Cette dose doit être réduite au quart par l'acide carbonique, de sorte qu'il ne reste plus qué 1 p. de chaux pour 1400 de jus. L'eau de chaux renfermant 0,143 % de chaux, les jus déféqués tels que nous les supposons en renferment 2 × 0,143 ou 0,286 % et après saturation le quart, soit 0,071. On a donc à enlever 0,215 % de chaux, soit, dans notre exemple, 2^k,25 par chaudière de 1,045 k^os.

Or, le carbonate de chaux est composé de 56 % de chaux et 44 % d'acide carbonique. Les 2^k,25 de chaux à éliminer des jus exigeront donc 1^k,76 d'acide carbonique et, comme l'acide carbonique pèse 1^k,524 par mètre cube, il faudra 1^mc,15 d'acide pur.

L'acide carbonique est habituellement préparé avec du charbon de bois ou du coke qui contiennent environ 80 % de carbone pur, et il faut à peu près 0^k,5 de carbone pour produire 1^k,76 d'acide carbonique.

Pour saturer le contenu d'une chaudière de défécation, il faudra donc environ $0^{k},6$ de charbon de bois ou de coke, et, comme 1 k^{me} de bois exige 18^{mc} d'air pour sa combustion, (16^{mc} pour le coke), il faudra, dans notre exemple, que la pompe à acide carbonique puisse injecter dans le jus $0,6 \times 18$ ou $10^{mc},8$ de gaz dans l'espace de 20 à 30 minutes au plus. Ces données permettent de déterminer immédiatement les dimensions de la pompe nécessaire.

Le carbonate de chaux formé dans l'opération précédente se sépare, soit dans les débourbeurs, soit dans de petits filtres préparatoires, et le jus épuré est envoyé par un monte-jus aux réservoirs situés au-dessus des filtres. Il convient que le monte-jus contienne exactement le volume d'une chaudière de saturation. De la sorte, l'appareil est toujours convenablement rempli, et le travail se régularise de lui-même. Il est bon également de donner aux réservoirs de la filtration la même capacité qu'aux chaudières à déféquer, de façon à rendre le contrôle du travail plus facile. Le nombre des réservoirs pour le jus avant filtration doit être fixé à trois: l'un reste plein, et le jus y repose en abandonnant le peu de matières qu'il peut avoir entraîné; le second réservoir alimente les filtres, pendant qu'on nettoie le troisième, et qu'on le met en état de recevoir les nouveaux jus.

Pour l'installation des filtres, il convient d'abord de résoudre la question des dimensions à donner à chaque filtre, d'après le travail de la fabrique.

Nous avons calculé plus haut qu'on produisait par heure 2091 k^{cs} de jus. A la première filtration, on peut employer 15 p. de noir pour 100 de jus, ce qui correspond à une consommation de 314 k^{cs} de noir par heure. En dehors de cette quantité de noir, la grandeur des filtres dépend de la durée qu'on assigne à l'action du noir sur le jus. Supposons, par exemple, qu'on la fixe à une heure; la quantité de jus produite pendant ce laps de temps devra occuper exactement le vide formé par les interstices du noir. Comme la quantité de jus produite est constante, et que la sortie du liquide des filtres

est proportionnelle à la quantité entrée, on voit qu'on peut régler à volonté la durée de l'action. Si l'on prend des filtres trop grands, le jus reste plus longtemps en contact avec le noir, et comme c'est de cet élément, (ainsi que de la rapidité de l'évaporation), que dépend le temps que met le jus à parcourir toutes les phases de la fabrication, il est bon de ne pas prolonger outre mesure ce contact. L'expérience indique que, pour remplir les vides d'un noir de bonne qualité, il suffit d'une quantité de jus représentant 60 % du poids de ce noir. Pour 2091 k^es de jus, le filtre devra donc contenir 3485 k^es de noir neuf.

Dans la pratique, on ne laisse généralement le jus que pendant une demi-heure au contact du noir dans le filtre. Dans notre exemple où la quantité de jus produite pendant ce temps est de 1045 k^es, chaque filtre devra donc contenir 1743 k^es de noir.

Si l'on admet que 1 k^me de noir occupe un volume d'un litre, la capacité du filtre devra être de 1^mc,743 pour une mise en œuvre journalière de 50,000 k^es.

Dans les conditions que nous admettons, la durée du service de chaque filtre est facile à déterminer: on doit employer par heure 314 k^es de noir; chaque filtre, renfermant 1743 k^es, durera donc $\frac{1743}{314}$ soit $5^h\,1/2$.

La pratique a démontré que ces dimensions, telles que nous venons de les calculer, sont parfaitement suffisantes, et que la filtration ainsi réglée donne de très-bons résultats.

Toutefois, les dimensions précédentes peuvent être notablement réduites, si l'on fait remonter les jus d'un filtre sur le suivant. Si, en effet, on a adopté la durée d'une demi-heure pour la filtration, et si l'on veut faire passer le jus sur deux filtres, il ne devra rester qu'un quart-d'heure dans chacun d'eux. Comme d'ailleurs la quantité de jus produite par quart-d'heure est de 522 k^es, il suffira que, dans chaque filtre, les vides du noir puissent loger cette quantité. Le filtre ne devra donc contenir, d'après les règles précédentes, que 871 k^es de

noir, ce qui correspond à $0^m,87$, soit 4^m de hauteur pour $0^m,55$ de diamètre. La durée du service de chaque filtre sera dans ce cas plus courte: $\frac{871}{313}$ soit $2^h\,8/10^{es}$. On aura donc, au bout de $2^h\,8/10^{es}$, la moitié seulement des eaux de dégraissage qu'on avait toutes les 5 heures dans le cas précédent. Cette division permet d'introduire plus régulièrement les eaux de dégraissage dans les appareils d'évaporation, et de les concentrer assez vîte pour qu'elles n'aient pas le temps d'aigrir, puisque les jus et les eaux de dégraissage ne séjournent que 3 heures, tandis que dans l'autre cas, ces matières, restant 6 heures environ, s'altéraient facilement. Enfin, la vidange et le chargement des filtres se font plus régulièrement et à de moindres intervalles. Dans l'hypothèse d'une installation de ce genre, le nombre des filtres devrait être de 5 ou 6, dont 3 en marche, un en dégraissage, l'autre en chargement.

Nous renvoyons d'ailleurs, pour les détails d'installation des batteries de filtres dans ces conditions, aux renseignements que nous avons donnés dans le cours de cet ouvrage.

Passons maintenant à l'évaporation des jus; dans notre exemple, nous avons à concentrer par heure 2091 k^{es} de jus, depuis 10 % Balling (5°,6 Baumé), jusqu'à 50 % (27°,2 Bé.). Ces 2091 k^{es} de jus contiennent, à raison de 10 %, 209 kilogrammes de sucre. La quantité de sirop produite sera donc $x = 209,1 \times \frac{100}{50}$ soit $418^k,2$ à 50 % Balling. Par suite, on a à enlever au jus par heure, ou à évaporer

2091 — 418, soit	1673^k d'eau.
A ce chiffre, il faut ajouter le dégraissage des filtres, à jus, soit 2 fois le poids du noir, ou	626^k -
Les eaux de dégraissage des filtres à sirop représentent 2×141	282^k -
Enfin, l'eau ajoutée à la râpe à raison de 20 % donne	419^k -
Total . . .	3000^k d'eau.

Or, chaque mètre carré de surface de chauffe, dans un appareil à simple effet et à tuyaux verticaux, évapore environ 65 k^es d'eau par heure; il faudrait donc, dans le cas actuel, une surface de chauffe de $\frac{3000}{65}$, soit 46^mc,1.

D'un autre côté, et si l'on dispose de vapeurs de retour en quantité suffisante, un mètre carré de serpentin peut vaporiser avec de bons jus 150 .k^es d'eau par heure. Il ne faudrait donc dans ce cas qu'une surface de chauffe de $\frac{3000}{150}$ soit 20^mc.

Toutefois, pour ne jamais être à court, on admet dans la pratique que les appareils à serpentins doivent avoir 60 % de la surface de chauffe qu'on donnerait à des appareils à tuyaux verticaux. Comme nous avons trouvé pour ces derniers 46^mc,1, il faudrait donner aux serpentins une surface de 46,1 × 0,60 soit 27^mc,7.

D'après cela, on voit que, pour les appareils à double effet avec serpentins, la surface de chauffe totale devra être de 55^mc,4; pour les triples effets, 83^mc,1. Avec des tuyaux verticaux, les surfaces seraient respectivement 68^mc,2 et 133^mc,3, chiffres qui représentent, pour le double effet, 44 k^es d'eau évaporée par mètre carré et par heure, pour le triple effet, 22^k,5.

D'après quelques ingénieurs, pour les serpentins on devrait compter 1^mc de surface de chauffe pour chaque caisse par 2500 k^es de betteraves journellement mises en œuvre, en augmentant cette surface de 67 % dans le cas des tuyaux verticaux. Cette règle conduirait dans notre exemple à 20^mc, ce qui concorde avec nos chiffres. Toutefois, il serait bon que la surface des serpentins ne descendît pas dans ce cas au-dessous de 25^mc par caisse.

Les dimensions a donner aux pompes à air des appareils d'évaporation ont été déduites de l'expérience: on a trouvé que par 1000^k de betteraves mises en œuvre journellement, il suffisait que la pompe fournît un volume de 60 litres par minute. Par suite, avec un travail journalier de 50,000 k^es de

betteraves, la pompe devrait être en état d'enlever de la caisse d'évaporation 6000 litres par minute. Or, la pompe à air faisant par exemple 50 tours par minute et étant à double effet, elle devra, à chaque double course, enlever 120 litres environ. Il est facile, en partant de cette base, de calculer la course et la surface à donner au piston. Ainsi, pour une course de 60 centim., le diamètre du piston devrait être de 40 cent. environ.

Les chiffres que nous avons admis plus haut sont les chiffres minimum qui puissent donner des résultats satisfaisants. Il conviendra donc de ne jamais descendre au-dessous et de ne pas oublier que les pompes à air très-puissantes ont, avant tout, l'avantage d'activer l'évaporation, d'augmenter par suite le rendement de l'appareil.

Après l'évaporation vient la filtration des sirops. Dans l'exemple que nous avons pris, nous obtenions par heure 418 k^{os} de sirop à 50 % Balling et, comme le sirop offre moins de prise que les jus à l'altération, on peut, sans aucun danger, le laisser toute une heure en contact avec le noir.

Un filtre à sirop, pour le travail que nous admettons ici, devrait, (en vertu de la proportion 60 : 100 : : 418 : x), contenir 696 k^{os} ou, en nombres ronds, 700 k^{os} de noir ce qui représente 7 hectolitres environ.

On voit par là que les filtres à sirop, tels qu'on les établit souvent dans les fabriques, c'est-à-dire avec les mêmes dimensions que les filtres pour les jus, ont un volume trop considérable. C'est à cette cause du reste qu'est dû l'inconvénient fréquemment observé dans les usines que les sirops font défaut pour les filtres neufs qu'on vient de charger, tandisque les jus se trouvent en excès et qu'on est obligé de les faire couler très-vite, tandisque, par contre, le sirop séjourne trop longtemps sur le noir.

La quantité de sirop qui, dans notre exemple, représente 418 k^{mes} par heure, soit 418 $\times$ 22 ou 9196 à 50 % Balling par jour, doit maintenant être transformée en masse cuite. Nous supposerons ici qu'on ait un rendement très-faible, de 10 %

seulement en masse cuite, de façon à déterminer une surface de chauffe plus considérable qu'il ne serait strictement nécessaire de le faire.

Nous avons donc à transformer en masse cuite une quantité de sirop représentant . . . . . 9,196 k^es

50,000 k^mes donnent, en masse cuite, sur la base de 10 % . . . . . 5,000 -

Il reste donc un poids de . . . . . 4,196 k^es, qui représente la dose d'eau à évaporer en l'espace de 15 heures. On a donc en réalité 280 k^es d'eau à évaporer par heure.

Or, d'après la pratique des cuites en grains, on admet que 1 mètre carré de surface de chauffe peut évaporer jusqu'à 65 kilog^es d'eau par heure. Dans le cas que nous traitons, il faudrait donc $\frac{280}{65}$ soit 4^mc,3 de surface de chauffe au minimum. Toutefois, ce chiffre doit être augmenté d'au moins 10 % pour répondre à toutes les exigences du travail.

La capacité d'un appareil à cuire dans le vide devrait être assez grande pour contenir le quart de la masse cuite à produire journellement. Cette masse cuite représentant 1250 k^es, et l'hectolitre de cette matière pesant environ 150 k^es, l'espace occupé serait de 8^h,3 environ et la capacité de la chaudière devrait représenter le double de ce chiffre. Si, comme il arrive souvent, on exprime la grandeur d'un appareil de cuite par le nombre de pains de 15 k^es qu'on peut y faire cuire en une seule fois, on voit que l'appareil ci-dessus correspondra à $\frac{1250}{25}$ soit 83 pains. Mais comme nous n'avons compté que sur 10 % de masse cuite, tandisque le rendement réel s'élève jusqu'à 12 %, il en résulte que notre appareil se rapporterait à une cuite de 100 pains.

Ainsi, qu'on l'aura remarqué dans les pages qui précèdent, le système de travail tel que nous le comprenons suppose pour le séjour du jus dans les diverses périodes de la fabrication un intervalle de temps calculé à l'avance et dans lequel on doit

se maintenir le plus exactement possible. Il pourra n'être pas sans intérêt de réunir dans un résumé unique les diverses périodes dans lesquelles se décompose le travail.

L'extraction du jus, pour une chaudière de défécation, dure		30 min.
La défécation de cette même chaudière, au maximum		30 -
La clarification, la saturation et la filtration sur les débourbeurs	1 h.	30 -
La filtration du jus	1 -	
L'évaporation de la même quantité dure une demi-heure, mais comme l'appareil exige pour produire une partie de sirop quatre ou cinq fois son volume de jus, il faut travailler à la fois 5 parties de jus dont le travail représente comme temps . . . . . 4 heures.	-	
Comme d'autre part l'appareil lui-même doit être maintenu constamment plein, on doit avoir en réserve les jus d'une heure, soit au total 4 heures, ci	4 -	
La filtration des sirops exige	1 -	
La réunion des sirops jusqu'au moment où l'on commence la cuite prend	2 -	
Enfin, la cuite en gros cristaux représente .	4 -	
Total . . .	14 h.	30 min.

Tel est le temps qui, dans une fabrique de sucre bien organisée, devrait toujours suffire pour amener les jus de l'état initial à l'état de masse cuite.

Il est vrai que, dans cette période de temps, toutes les particules de jus ne sauraient arriver à l'état de masse cuite: ainsi, les eaux de dégraissage, par exemple, ne se recueillant que plus tardivement, leur évaporation exige aussi plus de temps. Mais, quoiqu'il en soit, les chiffres donnés plus haut suffisent à montrer de combien les fabricants s'écartent souvent des conditions normales du travail. Il ne manque pas de fabriques où il se passe 20 heures et plus à partir de la

mise en train du travail jusqu'au moment où on coule la première masse cuite.

Plus le jus traverse rapidement les diverses phases de la fabrication, sans toutefois que la durée de la filtration en souffre, et plus assuré est le succès, plus beaux, plus nerveux, sont les produits. Le jus de la betterave se trouve en effet, dans ces conditions, soustrait aussitôt que possible à l'influence nuisible de l'air, et les eaux de dégraissage notamment se travaillent sans altération aucune.

Nous avons examiné et discuté plus haut au sujet de l'évaporation, les dimensions des pompes à air nécessaires pour un travail donné. Nous étudierons ici les conditions spéciales pour l'établissement des pompes à air sèches. A la température très-basse à laquelle s'effectue l'évaporation, 1 k^{mc} d'eau donne, dans le vide, environ 2,700 litres de vapeur et l'eau d'injection ne saurait condenser cette vapeur d'une manière complète. D'autre part, l'eau de condensation elle-même contient toujours de l'air qui, par suite de la réduction de pression, se dégage. La pompe a donc pour but d'enlever, non seulement la portion des vapeurs non condensée, mais encore l'air introduit avec l'eau dans le condenseur. Or, la pompe à air et à eau des appareils ordinaires doit avant tout enlever l'eau chaude. Il ne lui reste donc qu'un volume moindre, toutes choses égales d'ailleurs, pour l'air et les vapeurs. La pompe à air sèche n'a d'action à exercer au contraire que sur cet air et ces vapeurs. Il suit donc de là qu'une pompe de ce genre permettra de maintenir dans l'appareil un vide plus parfait, par suite de cuire à une température moins élevée. En fait, ces pompes peuvent, à elles seules, extraire le quart de la totalité des vapeurs produits dans l'appareil. Dans notre exemple, nous avions à évaporer par jour 4196 k^{os} d'eau, soit par heure 280 k^{os} et par minute $4^{k},7$. A raison de 2700 litres par kilogramme, cette eau produirait $12^{mc},69$ de vapeur, et pour en enlever le quart, la pompe à air aura besoin d'engendrer un volume de $3^{mc},17$. A raison de 60 coups par minute, chaque double mouvement n'aurait donc

à développer qu'un volume de 54 litres environ. Ce sont des conditions très-faciles à réaliser. La discussion qui précède prouve donc, d'une façon péremptoire, l'avantage de la pompe à air sèche. D'autre part, cet appareil n'a pas à redouter les dépôts incrustants qu'abandonnent les eaux chaudes et qui rendent si difficile le nettoyage des autres pompes. On ne peut donc que regretter que ce perfectionnement, introduit depuis nombre d'années dans presque toutes les fabriques d'Allemagne, soit encore si peu connu dans les autres pays producteurs de sucre.

Les frais d'installation et la force motrice qu'exigent les pompes à air sèches sont d'ailleurs relativement très-faibles. La force motrice représente 3 chevaux-vapeur nominaux par pompe. Il est donc facile d'établir comme suit, et d'une manière approchée, la dépense de force necessaire pour les appareils de cuite et d'évaporation, ainsi que pour les turbines, en admettant un travail journalier de 50,000 k^{es} de betteraves:

pour 2 pompes à air, desservant, l'une la cuite, l'autre l'évaporation	6,0 ch. v.
pour les pompes élevant la quantité d'eau nécessaire	4,5 -
pour les pompes alimentaires des générateurs . . .	1,0 -
pour actionner les quatre turbines employées au travail	6,5 -
Total . . .	18,0 ch. v.

Comme, d'autre part, il fallait pour la production du jus une force de	18,0 -
Nous trouvons le chiffre de	36,0 ch. v.

pour la force motrice d'une fabrique traitant 50,000 k^{es} par jour.

Dans les petites usines, il y a un avantage considérable à n'employer qu'une machine motrice unique et notamment une machine à balancier, (figure 183), attendu qu'on peut commander directement en les reliant au balancier les pompes des presses hydrauliques, les pompes alimentaires, enfin les pompes à eau et à air, sans qu'il soit besoin de recourir à des transmissions compliquées et couteuses. Les machines de ce genre

Fig.

sont faciles à surveiller et à entretenir, et si elles sont d'un prix d'achat un peu élevé, elles ont un fonctionnement plus économique que les petites machines indépendantes.

Ces considérations posées, nous devons revenir à notre étude sur l'organisation de la fabrique.

Nous admettrons que notre usine produise journellement comme masse cuite 12 % de la quantité de betteraves travaillée, soit 6000 k^os^ et comme cette masse cuite doit séjourner dans les bacs 5 jours au minimum, nous aurons à prévoir pour ces bacs de faible hauteur une capacité de 30,000 k^os^ correspondant à 200 hectolitres environ. D'autre part, une turbine de petite dimension est en état de travailler par jour approximativement 1500 k^mos^ de masse cuite. Il nous suffira donc d'avoir quatre de ces appareils. — Lorsqu'on travaille avec les formes ou les caisses, le calcul est encore plus simple.

Si l'on admet un rendement en premier jet de 60 %, il reste 40 % de sirop soit 6000 × 0,4 ou 2400 k^mos^ qui, recuits et réduits de 10 %, représentent par jour 2200 k^mos^ de second produit. Les bacs des emplis doivent être établis d'après cette base pour un séjour des produits à l'empli de 10 à 30 jour suivant qualité de la masse.

Pour les troisièmes jets ou, si l'on n'en fait pas, pour les mélasses; on doit compter sur 70 % du second produit, soit 2200 × ou 1540 k^mos^, ce qui, pour un séjour de quatre mois à l'empli, forme un poids total de 184,500 k^os^.

En ce qui concerne les quantités d'eau et de vapeur à prévoir pour la fabrique, ces questions feront l'objet d'un chapitre suivant.

L'atelier de revivification du noir doit pouvoir livrer en noir 20 ou 25 % du poids de la betterave, soit 12,500 k^os^. Un tuyau dans les fours à noir fournit toutes les 20 minutes 5 k^os^ de noir, soit par jour 360 k^os^. Le four devra donc comporter $\frac{12,500}{360}$ soit 35 tuyaux de calcination.

La surface de sole pour sècher le noir ne doit pas être prise trop faible; la dessiccation aussi complète que possible

est une condition indispensable, et de bonne qualité des produits et de rendement du four. Il serait bon que cette sole eût une surface d'eau moins 15 mètres carrés pour un travail journalier de 50,000 k^es^ de betteraves.

Un laveur de noir (fig. 171) lave par 24 heures 15,000 k^es^ de noir; une machine de ce genre suffit donc amplement pour l'usine dont nous nous occupons.

La fermentation par voie humide, durant 7 jours, correspond à un approvisionnement de 7 × 12,500 ou 87,500 k^es^ de noir, soit un espace de 80 mètres cubes environ dans les cuves de fermentation. Pour la fermentation sèche, il faudrait de 10 à 14 jours pendant lesquels une quantité de 125,000 à 150,000 k^es^ de noir resterait inutilisée. Mise en tas de 0^m^,60 de haut, cette quantité occuperait une surface de 250 mètres carrés environ; le local choisi devrait, ainsi que nous l'avons vu, être situé autant que possible au premier étage, le noir étant disposé sur un plancher à claire-voie. D'autre part, il serait essentiel de maintenir la température de ce local aussi élevée que possible.

Dans beaucoup d'usines, on utilise, pour le chauffage des diverses salles, une partie des vapeurs de retour, que l'on fait circuler dans des conduites en fer ou en fonte. A ce titre, quelques observations spéciales dans l'objet peuvent être utiles. Les tuyaux doivent être réunis par des assemblages qui, tout en assurant l'étanchéité de la conduite permettent à ces différentes parties de se dilater ou de se contracter librement, de façon à prévenir à la fois les ruptures et les pertes de vapeur. Il convient d'ailleurs de disposer les joints de telle sorte que, d'une part, on puisse les défaire facilement, que d'autre part, le montage de la conduite soit assez simple pour qu'on observe exactement les pentes nécessaires pour l'écoulement de l'eau condensée.

Lorsqu'on emploie la vapeur des retours pour le service d'évaporation, qu'en outre on fait usage d'appareils hydroextracteurs automoteur, on n'a jamais en excès de la vapeur détendue. On pourrait, dans ce cas, recourir, pour le chauffage des diverses salles, à l'emploi de l'air échauffé. On pourrait

d'ailleurs réaliser ce chauffage sans dépense de combustible spéciale, en faisant circuler l'air dans des tuyaux en fonte disposés dans les carneaux de fumée des générateurs. Au moment où ils arrivent à la cheminée, les gaz de la combustion possèdent une température de 250° et plus. Cette chaleur disparait par la cheminée, sans produire d'autre effet utile que le tirage même. Or, ce tirage est déjà assez énergique pour les températures de 180° et même de 150°. On peut donc, sans aucun inconvénient, utiliser pour d'autres usages la différence de 250 à 180° soit 70°. J'ai pu, de la sorte, échauffer sans difficulté à 30 ou 40° de l'air circulant dans des tuyaux et, comme la section des carneaux avait été élargie pour l'installation de ces conduites, il n'en résultait aucune irrégularité dans le tirage. Il suffit ensuite pour diriger dans les locaux à chauffer l'air sortant de la salle des générateurs, ou d'utiliser sa force ascenscionnelle propre, ou de recourir à l'emploi d'un ventilateur.

Dans son traité sur la chaleur, Péclet indique un autre mode de chauffage sans dépense nouvelle de combustible. Il emprunte pour l'utiliser, la chaleur qu'emporte l'eau de condensation. Toutefois, les résultats d'expérience qu'il cite à l'appui de cette méthode paraissent assez peu vraisemblables.

Il est bien évident que l'organisation la plus rationnelle d'une fabrique ne saurait modifier la qualité des betteraves et ne pourrait compenser les inconvénients résultant de ce chef, mais elle peut les équilibrer en partie, les rendre moins sensibles. D'autre part, si bien outillée qu'elle soit, une fabrique mal dirigée pourra donner de mauvais travail. Mais, ce qui est hors de doute, c'est qu'une fabrique capable d'amener les jus bien épurés en 14 heures jusqu'à la cuite, rendra, et comme qualité et comme quantité, infiniment mieux qu'une autre, dans laquelle les jus resteront exposés pendant 30 heures et plus, aux influences nuisibles de toute nature. Nous croyons donc parfaitement justifiée l'importance que nous attachons à une organisation rationnelle des usines.

Chapitre II.

De la consommation d'eau dans une fabrique de sucre.

Les quantités d'eau nécessaires au travail ne sauraient être les mêmes dans toutes les fabriques; elles varient forcément suivant les circonstances. Toutefois, il est possible de donner quelques indications sur ce sujet et ce sont ces indications que nous nous proposons de résumer ici.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, une fabrique travaillant 50,000 k^es^ de betteraves par jour exige pour sa force motrice .36 chevaux-vapeur. Si l'on compte par cheval-vapeur 30 k^es^ d'eau, il résultera de ce chef une consommation par heure de 30 × 36 . . . . . 1,080 k^es^

Il est vrai qu'en sortant des machines, les vapeurs sont utilisées pour la concentration des jus, et que leur condensation dans cette seconde période restitue une partie de l'eau dépensée, sous réserve d'une perte de 10 à 20 %. Mais, dans les calculs du genre de celui que nous faisons, il vaut toujours mieux forcer les chiffres que les réduire, pour assurer en tout état de cause la marche régulière et satisfaisante du travail.

Pour l'extraction du jus, la consommation d'eau est extrêmement variable. On peut dépenser en eau tout aussi bien depuis 5 % jusqu'à 70 % du poids des betteraves mises en œuvre, suivant la méthode adoptée dans chaque fabrique. Admettons donc par exemple qu'on emploie 70 % pour l'extraction du jus. Il faudra compter pour le nettoyage des appareils, les lavages, etc., au minimum 30 %, soit au total 100 %, ce qui représente, pour un travail de 50,000 k^es^ en 22 heures 500 hectolitres d'eau ou, par heure . . . . . 2,272 -

Pour la défécation on dépense 956 k^es^ de houille, ce qui, à raison de 7 k^es^ d'eau par kilogramme de charbon, correspond à une dépense de 6692 k^es^ ou

par heure au 24e, soit 278 kes. Cette eau se trouve ramenée dans les retours, mais, avec une perte qu'on ne peut évaluer à moins de 10 %, soit par heure . 28 kes

Pour la préparation du lait de chaux on doit compter par heure . . . . . 23 -

A la filtration, nous admettrons l'emploi de 25 % de noir, soit 12,500 kes par 24 heures et 521 kes par heure. On recueille comme eaux de dégraissage le double de ce poids et, dans le chargement et le déchargement des filtres, le noir absorbe un poids d'eau égal au sien. On a donc, comme consommation totale . . . . . 1,563 -

Pour le lavage du noir, les laveurs perfectionnés dépensent un poids d'eau représentant de 4 à 5 fois le poids du noir, soit, dans notre exemple et par heure, 5 × 521 . . . . . 2,605 -

Si l'on veut laver le noir à deux fois, cette dépense d'eau se trouve naturellement doublée.

Pour l'évaporation dans les appareils à condensation à simple effet, il faut:

1°, pour la condensation des vapeurs, en admettant que la température de l'eau s'élève de 20° 36,075 -

Avec les appareils à effet multiple de la vapeur, la dépense d'eau est notablement plus faible, elle se réduit à la moitié ou au tiers.

2°. Pour l'évaporation, on doit compter sur 1,385 kes d'eau dont la condensation restitue les $^{90}/_{100}$es. Les 10 % qu'il faut remplacer représentent 138 -

Dans la cuite par le vide, il faut, ainsi que nous l'avons vu, évaporer en 16 heures 5200 kes d'eau, soit 325 kes par heure et cette quantité exige pour sa condensation une quantité 20 fois plus grande, soit 8,450 -

Pour le lavage à l'acide des noirs, les laveurs à betteraves, le nettoyage des sacs, des formes, etc. on doit compter sur une consommation par heure de 850 -

Total . . . 53,084 kes

Ces calculs nous conduisent à une consommation d'eau de 1060[l] par heure et pour 1000 k[gr] de betteraves travaillées journellement. Avec une quantité d'eau de 1200[l] les besoins seront donc largement assurés.

C'est cette quantité que les pompes devront fournir réellement. Leur effet théorique devra donc être au minimum de 25 % plus élevé.

[On voit dès lors que, pour peu que les quantités de betteraves mises en œuvre soient importantes, les volumes d'eau à élever atteignent des proportions considérables. Dans beaucoup d'usines centrales le débit d'eau nécessité par la condensation seule dans les appareils à évaporer et à cuire varie entre 3000 et 6000 litres et s'élève même pour les plus importantes à 10,000 et 12,000 litres par minute. Les pompes à piston qui correspondraient à ce travail devraient être établies d'après des dimensions colossales et seraient à la fois très-encombrantes, et d'un prix très-élevé. On fait généralement usage aujourd'hui de pompes centrifuges dont les petites dimensions, la commande facile, l'installation simple et peu coûteuse s'ajoutent à l'avantage d'un débit considérable. Les figures 184, 185, 186, donnent une idée générale des dispositions adoptées par MM. Dumont et C[ie] pour l'établissement des appareils de ce genre.

Quant au mode de fonctionnement, il est très-simple: l'alimentation se fait au centre d'une roue à aubes qui est animée d'un mouvement de rotation très-rapide. La force centrifuge développée dans ces circonstances détermine l'expulsion de l'eau contenue dans la roue; il se produit d'une part, au centre, un vide qui fait affluer le liquide par le tuyau d'aspiration, d'autre part, à la circonférence, une pression considérable qui chasse vivement le liquide dans le tuyau de refoulement. L'aspiration et le refoulement s'établissent ainsi d'une manière constante par la rotation de l'appareil: il suffit d'amorcer la pompe au départ, ce qui se fait aisément en la remplissant d'eau par un robinet spécial. Des clapets de retenue assurent la durée de l'effet produit.

A l'usine de Villenoy une de ces pompes, d'un débit de 12,000 litres par minute aspire ce volume dans la Marne à une

profondeur verticale de 5 mètres, pouvant aller jusqu'à 7 mètres en eaux basses, à une distance de 350 mètres. On peut donc, quel que soit l'éloignement de la prise d'eau, avoir la pompe et son moteur dans l'usine. Quant à la hauteur à laquelle ces pompes permettent d'atteindre on conçoit qu'elle dépend de

Fig. 184.

Fig. 186.

Fig. 185.

la vitesse de rotation. En marche moyenne, il ne faut pas que la somme de l'aspiration et du refoulement donne une hauteur verticale supérieure à 20 mètres; il convient même de rester au-dessous.

Dans les usines mal approvisionnées d'eau, il est avantageux de pouvoir faire servir indéfiniment les eaux de condensation des appareils à évaporer et à cuire. On peut atteindre ce but en élevant les eaux chaudes au moyen de pompes dans un réservoir supérieur d'où elles s'écoulent en pluie sur un refroidissoir à fascines (fig. 187). Or on sait avec quelles difficultés fonctionnent les pompes à piston quand elles sont alimentées avec de l'eau chaude; il faut dans ce cas non seulement avoir le liquide en charge, mais encore adopter un système

Fig. 187.

de clapets mécaniques assez compliqué. Les pompes centrifuges, dont le débit est si considérable et qui aspirent l'eau chaude aussi facilement que l'eau froide, rendent encore dans ce cas spécial d'excellents services.]

Chapitre III.

Consommation de vapeur.

Le calcul des quantités de vapeur à fournir à une fabrique de sucre est particulièrement important, car il est essentiel de placer chaque machine, chaque appareil, dans les conditions les plus favorables à un fonctionnement sûr et rapide.

Les machines motrices exigent, comme nous l'avons vu précédemment, environ 36 chevaux-vapeur, ci . . . 36,0$^{ch.v.}$

Pour la défécation des jus, nous avons vu qu'il fallait employer 7000 k^{es} de vapeur et, en comptant le cheval-vapeur pour 30 k^{mes} de vapeur par heure, l'évaporation de ces 7000 k^{es} en 20 heures ou 350 k^{es} par heure représentera une force de . . . . . 11,5 -

Pour l'évaporation des jus et des petites eaux des filtres, on doit compter d'après nos calculs antérieurs 1385 k^{es} de vapeur, ce qui représenterait au minimum 46^{ch},2.

Mais, si l'on utilise pour l'évaporation les vapeurs détendues des machines motrices, lesquelles correspondent à 36 chevaux, on peut admettre que ces vapeurs se trouveront utilisées intégralement, sauf une perte de 20 % pour les refroidissements, les pertes etc. On n'aura donc a fournir pour l'évaporation qu'une quantité réelle de vapeur fraiche exprimée en chevaux par $46{,}2 - 36 \times 0{,}80$ soit. . . . . 17,4 -

Cette consommation se trouverait, soit en partie, soit même entièrement supprimée en faisant usage d'appareils à double ou triple effet. Néanmoins, il conviendra toujours de compter comme ci-dessus la dépense pour être assuré contre toute éventualité.

Pour l'appareil de cuite, qui, en vertu de nos calculs précédents, consomme 5200 kilogrammes de vapeur par journée de travail de 16 heures, soit 338 k^{es} par heure, on devra compter $\frac{338}{30}$, soit . 11,2 -

Pour chauffer dans les filtres les 12 500 k^{es} qui représentent les charges journalières de noir, soit 526 k^{es} par heure, il faudra, en laissant de côté la chaleur spécifique du noir, 81 k^{es} de vapeur, ce qui équivaut, en chevaux-vapeur, à . . . . . 2,7 -

Pour élever les jus à l'aide des monte-jus aux étages supérieurs de l'usine, en admettant une quan-

tité de 3000 k^cs élevée à 6^m, on devra faire une dépense de travail mécanique de 18000 kilogrammètres, soit environ en chevaux-vapeur . . . . . 3,6^ch. v.

Total . . . 82,4^ch. v.

Il suit de là que la fabrique, dans les conditions que nous étudions, doit être en état d'évaporer réellement par heure 82 × 30 ou 2460 k^mcs d'eau pour suffire aux exigences de la comsommation de vapeur. Le fabricant fera sagement d'ailleurs, avant la mise en marche de la campagne, de s'assurer par des déterminations directes, par des essais de vaporisation, que ses chaudières sont bien effectivement susceptibles de produire cette quantité, sans s'en rapporter aux indications, souvent trop élastiques, de certains fabricants de générateurs.

Pour produire facilement la quantité de vapeur indiquée ci-dessus, les générateurs doivent présenter une surface de chauffe approximative de 82 × 2, soit 164 mètres carrés; l'expérience prouve en effet que, dans le cours de la campagne, alors qu'une partie de la surface est rendue inactive par les dépôts, les cendres, etc., il faut compter dans les chaudières à bouilleurs sur une surface de 2 mètres carrés par cheval-vapeur effectif. Dans les générateurs tubulaires, on peut sans inconvénient réduire cette surface de chauffe.

Pour les foyers chauffés à la houille, on admet que la grille doit présenter une surface totale de 0^mc,10 (ou le tiers de surface libre) par force de cheval. Souvent aussi, on compte qu'un mètre carré de grille peut brûler par heure 60 kilogrammes de houille.

Dans les chauffages au bois, j'ai vérifié qu'il suffit, par force de cheval, d'une surface de grille totale de 0^mc,08 à 0^mc,07 si l'on a soin d'assurer une admission d'air suffisante. Avec la disposition ordinaire des foyers, on brûle de 100 à 150 kilogrammes de bois par mètre carré, mais nous ajouterons qu'il y a toujours économie à mener la combustion lentement sans forcer le feu.

Chapitre IV.

Utilisation des eaux de retour.

La vapeur, après qu'elle a servi soit à actionner les machines motrices, soit à chauffer, concentrer ou cuire les jus de betteraves dans les différentes phases de leur travail, se condense et se résout en eau, en vertu même de l'absorption de la majeure partie de la chaleur qu'elle renfermait. Cette eau, outre qu'elle se trouve à une température élevée, est en outre à peu près chimiquement pure. Or, l'industrie du sucre présente, pour l'utilisation de ces eaux pures et chaudes, nombre d'applications précieuses, qu'il s'agisse de laver ou de purifier le noir, d'alimenter les générateurs, etc. Dans les deux cas que nous venons de citer, en particulier, ces eaux ont l'avantage de ne plus donner lieu à aucun dépôt, attendu que leur première évaporation les a déjà dépouillées de tous leurs principes terreux. Quant à savoir s'il y a plus d'avantages à réserver les eaux condensées pour l'un ou l'autre de ces buts, pour laver le noir ou pour alimenter les générateurs, c'est un point qu'on ne peut décider dans chaque cas particulier qu'en vertu des conditions locales de l'usine. Eu égard à la faculté d'absorption que possède le noir pour les sels, j'estime que l'emploi des eaux de retour pour son traitement est souvent plus avantageuse. Au moins, dans les générateurs, les dépôts et les incrustations sautent aux yeux et forcent l'attention. Par contre, on ne doit pas aussi négliger ce fait que les eaux de retour sont encore chaudes et retiennent le sixième environ de la chaleur nécessaire à leur évaporation. Une fabrique qui ramène ces eaux sans refroidissement, à 100°, dans les générateurs, économise toute la quantité de charbon qu'il eût fallu brûler pour élever à 100° l'eau d'alimentation.

Les vapeurs qui ont cédé dans les machines leur force motrice sont, dans les nouveaux appareils de concentration, condensées d'une manière complète et sont recueillies à leur sortie de serpentins ou des caisses tubulaires pour être refoulées

par les pompes alimentaires. Aussi, souvent installe-t-on de semblables pompes directement à la sortie des serpentins pour aspirer l'eau au fur et à mesure de sa condensation, dans les limites de sa production.

Dans les chaudières à déféquer, on faisait autrefois arriver la vapeur à la partie la plus élevée du double-fond, et un tuyau partant du point le plus bas ramenait directement cette eau jusqu'au fond des générateurs. Mais, pour une semblable installation, les chaudières doivent être placées à un niveau très-élevé, pour que la colonne d'eau, dans le tuyau de retour, puisse exercer une pression suffisante. Seulement, comme la vapeur qu'on admet, surtout au début de l'échauffement, se condense très-vite, il arrive que l'eau du générateur remonte dans la chaudière à déféquer par le tuyau de retour, et il en résulte souvent des difficultés de travail, des ruptures des fonds des chaudières, etc. On s'est donc trouvé amené à intercaler dans la conduite de retour une pompe destinée à refouler l'eau, sous une pression suffisante dans les générateurs. Mais, là encore se présente un autre inconvénient: la vapeur à haute pression et par suite à température élevée échauffe outre mesure les corps de pompe, les garnitures s'échauffent et perdent, les réparations deviennent incessantes. D'autre part, une pompe ne fournit jamais qu'un débit déterminé, toujours le même. Or, toutes les fois qu'on opère une défécation, la condensation de vapeur est beaucoup plus active au début que plus tard, alors que le liquide est arrivé à peu près à son point d'ébullition et que la différence des températures s'est notablement réduite. Si donc la pompe est en état, dans la première période, d'enlever la quantité d'eau plus forte qui se condense, elle aura ensuite trop peu à faire lorsque la condensation sera devenue moins active; il arrivera dans les corps de pompe de la vapeur. Si, au contraire, on installe une pompe plus faible qu'il ne le faudrait pour le commencement du travail, la défécation s'opèrera trop lentement.

Pour éviter ces difficultés, on a construit des appareils à mouvement automatique, connus sous le nom d'hydroextracteurs,

d'automoteurs, et qui ont pour but de séparer, au fur et à mesure de sa production l'eau résultant de la vapeur condensée.

Dans tous les appareils de ce genre, un flotteur relié, soit à un robinet, soit à une soupape d'évacuation, commande ces organes lorsque la quantité d'eau accumulée atteint une certaine limite, pour les refermer quand le niveau de l'eau a baissé d'une quantité voulue.

Parmi les appareils entrés dans la pratique, nous nous bornerons à décrire et discuter un des types les plus rationnels, qui se trouve représenté dans les figures 188 et 189.

Fig. 188.

$\frac{1}{6}$

Dans un réservoir en fonte fermé par un couvercle formant joint étanche se trouve disposé un vase *b* plus petit, en tôle. Un tuyau traverse le couvercle du réservoir et descend presque jusqu'au fond du vase *b* lequel porte en regard une rondelle

en caoutchouc. En *a* débouche le tuyau par lequel arrivent mélangées l'eau de condensation et les vapeurs de retour. Une lame convenablement placée force l'eau à se répartir tout autour dans l'appareil de façon à égaliser les pressions latérales. Le robinet *f* sert à faire échapper l'air confiné dans le réservoir, une tubulure au fond permet de vider complètement l'appareil en cas de réparations. La sortie de l'eau s'effectue en *d* et une soupape doit être ménagée sur son trajet lorsque plusieurs hydroextracteurs sont branchés sur un tuyau de décharge unique.

Fig. 189.

Cette soupape se lève quand l'eau sort de l'hydroextracteur que lui correspond, mais, en retombant ensuite sur son siège, elle s'oppose à la rentrée de l'eau par le tuyau *e*. Le bruit de ces soupapes quand l'appareil fonctionne permet d'ailleurs à l'oreille d'apprécier si ce fonctionnement a lieu dans des conditions convenables.

L'effet de l'hydroextracteur est facile à comprendre. L'eau arrivant en *a* commence par remplir l'espace annulaire laissé libre entre le réservoir et la cloche mobile *b*. Cette dernière se soulève peu à peu entrainant dans son mouvement la tige mobile *c* jusqu'au moment où celle-ci, par la soupape qu'elle porte à sa partie supérieure, en *d*, ferme hermétiquement l'orifice d'évacuation. L'eau continuant à arriver dans le réservoir finit par atteindre le bord supérieur de la cloche *b* et par tomber à l'intérieur de ce second récipient. Celui-ci, devenant peu à peu plus lourd par suite de l'arrivée de l'eau, finit par redescendre ainsi que la tige *c*. La pression de la vapeur dans l'enceinte force alors l'eau à remonter en *d* comme elle le ferait dans un monte-jus. La cloche *b* allégée se soulève à nouveau, la soupape se referme en *d* et ainsi de suite, le même jeu se produisant dans les appareils bien construits d'une manière constante et régulière.

Il peut être utile de déterminer ici les conditions auxquelles doit satisfaire un appareil de ce genre pour un bon fonctionnement.

Dans l'intérieur du réservoir règne la même pression que dans les conduites de vapeur, 3 atmosphères, par exemple, soit 3 kilogrammes par centimètre carré. La cloche *b* se trouve donc soulevée de bas en haut par la force résultant de cette pression exercée sur toute la surface extérieure de son fond. Pour un diamètre de $0^{m},30$, soit 706,5 centim. carrés, la pression sera $706,5 \times 3$, soit . . . . . $2119^{kes},5$

D'autre part, la cloche *b* se trouve soulevée par le poids de l'eau qu'elle déplace, soit, pour une hauteur de $0^{m},40$, $706,5 \times 4$ ou . . . . . $28^{kes},26$

Total . . . $2147^{kes},76$

Telle est la somme des forces qui s'exercent de bas en haut sur la cloche *b*. Les forces qui s'exercent en sens inverse sont, en premier lieu, la pression de la vapeur sur la surface intérieure du fond, diminuée de la section du tuyau central. Si on admet pour ce tuyau un diamètre de $0^{m},03$, soit

7 centim. carrés de surface, la pression de la vapeur de haut en bas sera de $(706,5 - 7) \times 3$, soit . . $2098^{kes},5$

La pression de la vapeur dans ce sens est donc inférieure de $21^{kes},2$ à celle qui s'exerce en sens inverse.

A cette pression, il faut encore ajouter le poids de la cloche *b* lequel doit être inférieur au poids de l'eau déplacée, (dans notre exemple $28^{k}26$). Nous admettrons que ce poids, augmenté de celui de la tige *c*, soit de 26 k^{es} . . . . . 26^{kes}

Total . . . $2124^{kes},5.$

Mais, cette charge de $2124^{kes},5$ n'est pas suffisante pour faire descendre la cloche *b*, attendu qu'elle est soulevée de bas en haut par une pression de $2147^{k},67$. Il reste un excès de $23^{k},46$. La cloche *b* ne pourra donc descendre que quand il aura coulé par dessus son bord la quantité d'eau qui représente exactement ce poids. Or, comme nous avons pris pour la cloche *b* un diamètre de $0^{m},30$, soit une surface de $699^{cc},5$, la hauteur de l'eau dans la cloche devra s'élever sensiblement à $0^{m},30$ avant que l'équilibre ne s'établisse et dépasser ce niveau par qu'il y ait mouvement de la cloche. Comme, d'autre part, nous avons admis une hauteur totale de $0^{m},40$, on voit que la cloche devra être à peu près remplie avant de redescendre.

Ce cas extrême montre en même temps que si la cloche *b*, à hauteur égale, avait un diamètre moindre, elle serait hors d'état de fonctionner convenablement. Il convient donc d'apporter une attention toute spéciale à la construction des appareils de ce genre.

Ces hydroextracteurs automatiques ne sauraient être trop recommandés toutes les fois qu'on opère des chauffages ou des concentrations de liquides. Ils s'appliquent également bien aux tuyaux de vapeur des chaudières de défécation, aux appareils d'évaporation, de cuite, etc. Seulement il est nécessaire là ou, par exemple, les eaux de retour de plusieurs chaudières à déféquer débouchent sur un hydroextracteur commun, d'installer sur le

tuyau qui part de chaque chaudière une petite soupape s'ouvrant seulement dans le sens du mouvement du liquide et s'opposant au retour des vapeurs.

Chapitre V.

Condensation dans les conduites. Vapeur surchauffée.

La vapeur produite dans les générateurs constitue une dépense plus ou moins importante, suivant la quantité qu'on en consomme et le prix du combustible dépensé, mais le prix de revient en est toujours augmenté par la perte inévitable qui se produit lorsque la vapeur doit parcourir dans les conduites, avant d'arriver aux appareils où on l'utilise, un trajet plus ou moins considérable. Dans ces conditions, une partie de la chaleur disparait par les transmissions à travers les parois et une portion de la vapeur se condense. Les pertes de ce genre en vapeur ou en combustible dépensé inutilement sont d'autant plus sérieuses qu'elles se produisent d'une manière continue et finissent par acquérir une importance véritable à la fin de la campagne. D'après les expériences faites à la Société Industrielle de Mulhouse, en 1859 par MM. Royet et Burnat sur les pertes dues aux différentes sortes d'enveloppes, on a constaté qu'un mètre carré de tuyau en fonte, sans enveloppe, condensait par heure $2^{k},84$ de vapeur en admettant que l'air fût entre $2^{0},75$ et $8^{0},25$, et la vapeur entre $1\frac{1}{2}$ et 2 atmosphères.

Or, dans une fabrique outillée pour travailler 50,000 k^{es} de betteraves par heure, les conduites de vapeur représentent au minimum une surface de 40 mètres carrés. Les pertes dues à la transmission de la chaleur seront donc environ $40 \times 2,84$ soit 113 k^{es}. C'est une quantité qui correspond à 3,7 chevaux-vapeur et qui se trouve entièrement perdue pour la fabrication.

Si l'on admet qu'un kilogramme de charbon évapore 7 kilogrammes d'eau, la perte ci-dessus correspond par heure à une dépense de 16 k^{es} de combustible, soit 384 k^{es} par jour et près de 40 tonnes pour la durée totale de la campagne.

Avec de la vapeur à 3 atmosphères, cette perte serait encore un peu plus considérable. Mais il est facile de la réduire en enveloppant avec des matériaux convenables les conduites de vapeur. Dans ces conditions, on parvient à protéger les parois d'une manière plus ou moins complète contre la perte due au contact de l'air.

Nous reproduisons ci-dessous les résultats de 12 essais dont les détails sont consignés au Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse, N° 147, 1859.

	Poids de vapeur condensée par heure et par mètre carré.
Fonte sans enveloppe	$2^k,84$
Enduit calorifuge Pimont	$1^k,56$
Etoupe imprégnée de caoutchouc (2^f par mètre carré)	$1^k,53$
Déchets de coton enveloppés de toile ($2^f,55$ par mètre carré)	$1^k,39$
Tuyaux en poterie laissant entre eux et la fonte un matelas d'air et enveloppés de paille ($9^f,05$ par mètre)	$1^k,12$
Tresses en paille d'assez forte épaisseur ($2^f,66$ par mètre)	$0^k,98$

Il résulte des chiffres ci-dessus que des enveloppes convenablement choisies peuvent réduire des deux-tiers la perte résultant du rayonnement et de la conductibilité des tuyaux.

Toutefois, il faut bien avouer que le but réel que l'on se propose n'est atteint de la sorte que d'une manière imparfaite. Pour le fabricant soigneux, il s'agit non seulement de réduire les pertes, mais, avant tout, d'obtenir de la vapeur une fois produite le maximum d'effet utile. Il est possible d'y arriver en surchauffant la vapeur avec les gaz chauds des foyers, la température de ces gaz dépassant en général 200°. Il suffit, soit dans les carneaux du foyer, soit dans le canal de fumée, de disposer des tuyaux dans lesquels on fait circuler la vapeur. La forme de ces tuyaux, leurs dimensions, se déterminent d'après la chaleur des gaz de la combustion et d'après la limite de

température que l'on s'impose pour la vapeur. La surface de chauffe varie dans ces conditions de $0^{mc},05$ à $0^{mc},5$ par force de cheval, soit, par 1000 kilogrammes de betteraves de $4^{mc},4$ à 44^{mc}. Comme chiffre moyen, on peut admettre une surface de chauffe de 16 mètres carrés.

La chaleur employée à surchauffer la vapeur dans ces conditions ne coûte rien, attendu qu'elle serait entraînée dans la cheminée sans produire le moindre effet utile. La dépense se borne donc exclusivement aux frais d'installation et d'entretien des tuyaux. Par contre les avantages de cette installation sont loin d'être négligeables. Ils consistent en premier lieu dans l'évaporation sans frais de l'eau que la vapeur entraîne généralement avec elle sous la forme de brouillards ou de molécules très-tenues, ou qui se trouve projetée par les soubresauts du liquide pendant l'ébullition. Or, cette proportion de l'eau représente souvent une fraction assez importante de la quantité totale d'eau vaporisée. D'après Péclet, cette fraction pourrait atteindre 20 %. Que, d'autre part, dans une ébullition rapide une forte proportion d'eau soit entrainée par projections, c'est un fait que démontre jusqu'à l'évidence le phénomène de l'évaporation dans des bassines ouvertes. Cette eau, entrainée dans les conduites de vapeur, pénètre dans les cylindres des machines motrices, dans les serpentins des appareils, et réduit, soit la force de la machine, soit la transmission rapide de la chaleur. L'évaporation sans dépense spéciale de cette eau entrainée, à l'aide de la chaleur perdue des foyers, constitue donc par elle-même une économie de combustible laquelle peut atteindre au minimum de 5 à 10 %, suivant les circonstances et la nature du générateur.

En second lieu, grâce au surchauffage de la vapeur, on réduit la condensation qui se produit si facilement dans les tuyaux de vapeur avec les installations ordinaires; la vapeur arrive donc intégralement au point où on doit l'utiliser. Les dépôts calcaires ne sauraient non plus se former dans les cylindres des machines, car ces dépôts ne peuvent se produire qu'une fois que la vapeur s'est transformée en eau.

En troisième lieu, la vapeur surchauffée occupe un volume plus considérable conformément aux lois de l'échauffement des gaz. Il en résulte donc qu'à tension égale, la vapeur surchauffée occupe un plus grand volume. Comme, d'autre part, il faut, pour remplir le cylindre d'une machine, un volume déterminé de vapeur, il est clair que le surchauffage correspond à une économie dans l'emploi de la vapeur, et il n'y aurait rien d'étrange à ce que l'ensemble de ces avantages représentât 20 % et plus sur la dépense totale.

Mais, pour les fabriques de sucre de betteraves, cet emploi de la vapeur surchauffée a une importance toute spéciale. En vertu de la différence plus grande de température résultant de la surchauffe, toutes les opérations de chauffage, d'évaporation, de cuite, se trouvent notablement abrégées. Les mêmes surfaces de chauffe dans les appareils rendent donc beaucoup plus en un temps donné, ce qui peut souvent, dans une fabrique, avoir un intérêt extrême.

En somme, les appareils pour produire la vapeur surchauffée s'établissent facilement; avec une installation rationnelle, les frais d'installation sont assez faibles, on n'a à craindre aucun danger spécial et la pression de la vapeur se règle sans aucune difficulté. Les installations de ce genre ne sauraient donc être trop vivement recommandées aux fabricants qui se préoccupent de réduire leurs frais, de produire le sucre aux conditions les plus économiques.

Chapitre VI.

Contrôle technique du travail.

En dehors de l'observation des règles que nous venons d'énumérer dans les précédents chapitres pour l'installation et l'organisation d'une fabrique, il est essentiel pour le fabricant de pouvoir suivre exactement le travail de son usine, de façon à le contrôler et, en cas de besoin, à porter un prompt remède aux défauts reconnus. Or, rien ne facilite plus ce contrôle qu'une comptabilité minutieuse et exacte, reproduisant toutes les données de la pratique, permettant de les rapprocher d'une façon claire et rapide. Le fabricant se trouve ici dans les mêmes conditions que tout commerçant qui, sans des livres exactement tenus, ne saurait contrôler ses propres opérations.

Pour la comptabilité industrielle, le procédé le plus avantageux consiste dans des tableaux rationnels qui permettent de se former rapidement une vue d'ensemble. Les tableaux que l'on trouvera ci-après pourront à cet égard servir de modèles ou de points de départ.

La première colonne contient les dates de chaque journée de travail. Le cadre porte 30 lignes par page, de façon à ce que le résumé de chaque mois s'établisse sans difficulté.

Dans la seconde colonne, on inscrit aussi exactement que possible le poids des betteraves travaillées, attendu que c'est là la base de tout calcul de rendement en sucre.

Dans les pays où, par suite même du mode d'établissement de l'impôt, les betteraves doivent être pesées, les chiffres de cette colonne se retrouvent sans difficulté. Le problême est plus complexe là où on prend les betteraves directement aux tas, sans soumettre leur emploi en fabrique à aucun contrôle de pesée. Il convient alors de numéroter les tas ou les silos, de noter le poids de chacun d'eux, de façon à rectifier périodiquement les évaluation sur les quantités livrées à la râpe. — D'ailleurs, si l'on extrait le jus à l'aide de presses, sans addition d'eau, on peut, connaissant à l'avance et en vertu d'essais

soigneusement suivis, le rendement en jus des appareils, déduire approximativement du volume des jus obtenus le poids des betteraves travaillées.

En second lieu, connaissant le nombre des défécations et le volume constant des chaudières, on en déduit le poids du jus obtenu et, en le rapportant au poids des betteraves, le rendement en jus de ces dernières. — Le volume des chaudières s'exprime généralement en hectolitres et, en le multipliant par la densité observée du jus, on a immédiatement le poids de ce jus. — Si l'on ajoute de l'eau durant l'extraction du jus, il faut avant tout connaître le poids de cette eau introduite dans le travail pour en déduire le poids réel du jus normal obtenu.

La qualité des jus n'offre pas pour le travail une moindre importance. On doit donc inscrire la densité moyenne du jus exprimée en degrés Balling ou Baumé, ainsi que la quantité théorique de sucre pur correspondant à chaque chaudière de défécation. Ces chiffres totalisés pour l'ensemble du mois donneront la quantité totale de sucre existant au début du travail et serviront puissamment pour les contrôles ultérieurs.

La qualité du jus brut, telle qu'elle s'observe avec l'appareil de Ventzke sans aucune difficulté, constitue le point de départ du contrôle pour l'épuration. L'étude correspondante des jus arrivant à l'évaporation donne le degré d'épuration réalisé dans le travail et, par différence, le poids des matières éliminées.

On pourrait, il est vrai, suivre les détails de l'épuration des jus dans les diverses phases intermédiaires du travail, mais on ne ferait que compliquer sans intérêt réel les tableaux d'ensemble, et ces études peuvent ne se noter qu'accidentellement, si l'on cherche à élucider un point particulier. De même, il peut être parfois intéressant de noter journellement l'alcalinité, tant des jus défégués que des sirops, la quantité de matières organiques dans les jus bruts et épurés. Les chiffres qu'on obtient ainsi forment, en réalité, le sous-détail de l'épuration ou de la teneur relative en sucre.

L'ensemble de ces notations poursuivies avec soin pendant toute une campagne pourrait permettre d'élucider nettement l'influence des matières organiques et minérales, et pourrait modifier peut-être, sous beaucoup de rapports, les vues actuelles de la fabrication.

Il reste ensuite à inscrire les matières et les ressources employées pour la fabrication, telles que la quantité de noir, le nombre des filtres de capacité connue, la quantité de chaux, de charbon de bois ou de coke, d'acide chlorhydrique, la consommation de combustible, la main-d'œuvre, de façon à comparer les différentes usines entre elles et à apprécier si, pour chacune d'elles en particulier, les moyens employés sont bien en rapport avec le résultat atteint. — Quant au rendement, on le détermine d'abord par la masse cuite, que l'on pèse ou mesure chaque jour, et dont on compare le poids avec celui du jus travaillé.

Le rendement en sucre brut de premier jet, tel que le fournit directement la masse cuite, a une grande importance. C'est là qu'habituellement se révèlent de la façon la plus nette les vices ou les avantages d'une méthode de fabrication, c'est là qu'il faut chercher le bénéfice principal de l'usine.

Les tableaux récapitulatifs du genre de ceux que nous venons d'esquisser peuvent même fournir ultérieurement un contrôle précieux du travail de la campagne; ils permettent souvent de retrouver les défauts d'une fabrication, d'en modifier les errements pour l'avenir.

Pour compléter cette étude, nous examinerons dans les chapitres suivants les rendements théoriques en masse cuite et en sucre que l'on devrait avoir dans chaque cas. Nous signalerons en même temps les points, où se produisent les pertes les plus importantes, et les moyens de les prévenir.

Mois d'Octobre 1871.

Contrôle Industriel:

Dates.	Betteraves travaillées kes	Nombre des défécations à 1045 litres par chaudière.	Jus.										
			Rendement en jus		Composition			Richesse relative en sucre		Alcalinité (eau de chaux = 1)		Substances organiques	
			poids	taux % des betteraves	degré Balling	sucre pur	total	du jus brut	des sirops	jus déféqué	sirop	jus brut	sirop
1 2 3	50,000	43	44,950	89,9	40%	12	6000 kes	75	85	1,8	0,25	0,8	0,15

Emploi des matières. — Rendements.

Nombre des filtres de 1744 litres	Poids du noir consommé kes	Chaux kes	Acide chlorhydrique kes	Coke kes	Combustible	Journées d'ouvriers		Masse cuite			Sucre brut					
						dans l'usine	service des cours	1er jet	2e jet	3e jet	de 1er jet	taux % de masse cuite	de 2e jet	taux % de masse cuite	de 3e jet	taux % de masse cuite
8	13,940	134	45	86	12,510	134	15	6000	—	—	3600	60%	—	—	—	—

Chapitre VII.

Estimation préalable des rendements en masse cuite, en sucre brut et en mélasse.

On a souvent besoin d'évaluer a priori, d'une façon sûre et rapide, la quantité de sucre qu'on pourra retirer d'une betterave de qualité connue et soumise à un travail déterminé. On peut y arriver en s'appuyant sur les considérations suivantes:

On prend, comme point de départ ou base du calcul du rendement en sucre, le taux % de sucre que renferment les jus naturels. Cet élément se détermine en effet sans peine, soit par la polarisation, soit par toute autre méthode. Nous nous bornerons à ce sujet à conseiller d'opérer sur un nombre suffisant de betteraves de diverses grosseurs, pour que le jus qu'on en retire représente bien la valeur moyenne des betteraves et que les résultats du calcul se rapprochent autant que possible des conditions du travail en grand.

Supposons que l'on ait pris un grand nombre de betteraves, et que leur jus accuse 11,5 % de sucre et 15,3 % Balling (8 1/3 Baumé). La quantité de sucre ramenée à 100 de betteraves serait $11{,}5 \times \frac{96}{100}$, soit 11,04 %, puisque 100 parties de betteraves contiennent 96 de jus. D'habitude, on détermine cette teneur en sucre en la rapportant à 100 de jus, mais comme, en somme, la betterave est la matière première mise en œuvre, il parait plus convenable de partir du poids même de la racine dans les calculs.

Le fabricant retire de la betterave plus ou moins de jus, suivant la méthode de production adoptée, suivant l'addition d'eau plus ou moins forte. Dans la pratique, le rendement en jus peut varier entre 80 et 90 %; néanmoins, nous ne prendrons dans notre exemple que le chiffre le plus faible, 80 %. 100 parties de betteraves contenant 11,04 % de sucre, les 80 %

de jus n'en contiendront que $11{,}04 \times \frac{80}{100} = 8{,}83\%$ et c'est cette quantité qui doit se retrouver en réalité dans les chaudières de défécation.

Dans le travail de la défécation, comme dans tout le reste de la fabrication, les pertes peuvent être d'une double nature, chimiques ou purement mécaniques.

Les pertes chimiques sont dues à une altération du sucre que peuvent quelquefois amener les alcalis libres en excès dans le jus. On peut se mettre à l'abri de cet accident en employant le chlorure de calcium, comme nous l'avons indiqué ailleurs. En tout état de cause, il est toujours possible de déterminer, dans chaque cas particulier, l'importance de cette perte et de faire intervenir cet élément dans le calcul du rendement.

Quoiqu'il en soit, on ne saurait assigner pour cette perte un nombre invariable et précis, bien que plusieurs auteurs, Michaëlis entre autres, admettent que cette perte représente $^1/_{10}{}^e$ du taux du sucre préexistant. La pratique de tous les jours montre que ces données sont loin d'être constantes. Ainsi, dans la Russie Méridionale, on trouve des betteraves dont le jus ne contient, pour 13% de sucre, que 0,4% d'alcalis, tandis qu'en Bohême, avec des taux de 11,5% de sucre, on rencontre souvent de 0,8 à 1,2% d'alcalis. Or, la quantité de sucre qui se détruit à la défécation est en rapport exact avec la teneur en alcalis. Toutefois, j'ajouterai que, le plus souvent, cette perte est très-faible; pour ma part, je n'ai guères pu la mettre en évidence avec les instruments dont on dispose aujourd'hui pour les essais.

Nous pouvons donc nous considérer comme autorisés à ne pas tenir compte de la réduction de richesse saccharine due à cette cause et je me bornerai à recommander de l'évaluer et de la faire entrer dans le calcul, pour les cas exceptionnels où elle prend une certaine importance.

En dehors de la transformation que nous venons de signaler, il ne me semble pas possible de faire entrer dans les calculs une autre perte de nature chimique. Si ces pertes

existent, elles sont au moins, dans l'état actuel de la fabrication, complètement insignifiantes, et on peut les négliger sans crainte d'erreurs. Quant à la perte due à la présence des sels qui entravent la cristallisation, elle se constate seulement quand on travaille la masse cuite pour en retirer le sucre, et nous ne nous occuperons de son importance qu'au moment où nous serons arrivés à cette phase du travail.

En même temps que des actions qui précèdent, on pourrait peut-être tenir compte de l'influence nuisible que la chaleur peut exercer sur le sucre pendant la concentration. Dans une raffinerie qui travaillait du sucre à 99 %, il restait dans les mélasses 1 % de sucre et on peut en conclure que, dans un jus à 9,9 % de sucre, la perte possible de ce chef pourrait être de 0,1 %, quantité que nous négligerons.

Il est vrai que, dans certaines fabriques mal installées ou mal conduites, on constate souvent des déchets importants dus à ce que les jus, pendant le travail, tendent à s'altérer d'une façon notable. Ces accidents se rencontrent lorsque les jus renferment beaucoup de ferments qui, trouvant des conditions favorables de température et de temps, agissent sur le sucre en le décomposant. Mais c'est là la conséquence d'un travail irrationnel et, dans une marche régulière, les pertes de cette nature ne sauraient se produire.

Nous arrivons maintenant aux pertes qui résultent de conditions physiques ou mécaniques.

On sait que, dans la défécation, certains éléments du jus sont séparés d'une manière complète; il se forme des écumes qui, même après pression, retiennent encore de 3 à 9 parties de jus suivant leur quantité et leur nature. Quand on ne s'astreint pas à déterminer directement cette perte, on peut admettre sans grande erreur, et comme chiffre moyen, que 4 % de jus restent dans les écumes.

A la filtration, (voir le chapitre qui s'y rattache), le noir conserve 5 % de jus qu'un dégraissage, même soigné, ne parvient pas à lui enlever.

A la cuite, les pertes dues aux projections et à l'entraînement représentent au plus 1 % de jus.

On voit donc que, sur 100 parties de jus, on perd, pendant le cours entier de la fabrication, 4 + 5 + 1 ou 10 parties de jus. Par suite, comme, avec 100 de betteraves, on obtient 80 de jus, la perte sera de 8 % du poids des betteraves et on ne retrouve, comme masse cuite, que l'équivalent de 72 % de jus.

Dans notre exemple, où la betterave renfermait 11,04 % de sucre, la masse cuite ne devait donc plus en contenir que 11,04 × 0,72 soit 7,949 %.

La perte totale en sucre, de la défécation à la masse cuite, représenterait donc, dans ce cas, 8,83 — 7,95 ou 0,88 %[1], chiffre assez faible, mais qui suppose un travail soigné à l'abri des pertes chimiques importantes.

Dans l'expression de cette perte, le déchet se trouve exprimé en taux % du jus. C'est sous cette forme qu'on en fait usage dans la pratique, bien qu'à ma connaissance tous les auteurs, jusqu'ici, aient rapporté cette perte au poids du sucre initial.

Il est souvent utile de posséder, pour l'expression de la perte totale, une formule dans laquelle il suffise de remplacer chaque coëfficient par les données particulières à chaque cas de la pratique. Jusqu'à présent, à mon avis, on a compliqué à plaisir cette question. J'ai vu des formules si longues, des tableaux si chargés sans être pour cela plus exacts, qu'ils n'étaient de nature à rendre aucun service, les premières conditions en industrie étant la clarté et la simplicité.

Pour nous, nous nous bornerons à réunir les divers éléments de perte énumérés plus haut dans une formule très-simple.

Soit S la quantité de jus retirée de 100 de betteraves;

Z le taux % de sucre rapporté à 100 de betteraves, c'est-à-dire le résultat de l'éssai polarimétrique multiplié par 0,96;

---

1) Schatten admet pour cette perte une valeur constante de 0,75, ce qui n'est pas exact, car j'ai trouvé jusqu'à 2,2 %.

V le taux % de perte du jus pendant la fabrication, perte évaluée à 10 % du poids du jus;

z le taux % de sucre dans la masse cuite.

On a

$$z = Z\ (S - V).$$

Ainsi, dans notre exemple, on aura

$$z = 11{,}04\ (80 - 8) = 7{,}95\ \%.$$

On voit combien il est facile, avec cette formule, de connaître la quantité de sucre existant dans la masse cuite. Si on est fixé à l'avance sur la qualité de cette masse, on en déduit immédiatement le rendement en sucre commercial de qualité déterminée.

La masse cuite est formée, en tant que principes solides, de sucre et de sels étrangers. Si donc on connait le rapport de ces quantités et si on suppose la même constitution de sels dans tous les cas, il suffit de connaître l'une des quantités pour avoir l'autre. Ainsi, si 100 parties de masse cuite desséchée contiennent 85 % de sucre (au polarimètre), il devra s'y trouver 15 % de sels étrangers. Par suite, on connait de la sorte la quantité de masse cuite desséchée que doit fournir le travail. Ainsi, dans notre exemple, d'après le rapport $\frac{85}{100} = \frac{7{,}95}{x}$, on a

$$x = \frac{7{,}95 \times 100}{85} = 9{,}35\ \%$$ de masse cuite sèche.

Malheureusement, on ne connait pas toujours à l'avance la qualité de la masse cuite que l'on obtiendra, attendu que les jus ont souvent des compositions variables et qui dépendent du procédé de fabrication.

Dans l'exemple que nous avons choisi, le jus brut accusait une différence de 3,8 % (15,3 — 11,5) pour le calcul des substances étrangères. Bien que ce chiffre de 3,8 ne représente pas rigoureusement la teneur réelle en sels, nous admettrons, pour plus de simplicité, que les deux nombres de teneur vraie et de teneur apparente sont identiques, et que la différence entre les indications de l'aréomètre de Balling et le taux % de sucre représente réellement la proportion de sels étrangers.

L'expérience indique que, dans le travail en grand, la moitié des sels étrangers peut-être éliminée dans les diverses phases de la fabrication si celle-ci est convenablement dirigée. Il est vrai que la nature même des sels qui renferme le jus influe sur cette faculté d'élimination, mais, comme nous devons nous en tenir aux chiffres moyens, nous pouvons admettre en toute sécurité cette proportion de 50 %. Du reste, dans chaque cas particulier, le fabricant pourra remplacer cette valeur moyenne par toute autre se rapprochant plus des conditions réelles où il se trouve.

Revenons à l'exemple que nous avions pris, et dans lequel 100 parties de jus renfermaient $3^p,8$ de matières étrangères. Comme 100 p. de betteraves correspondent à 96 de jus, il en résulte que le taux des sels pour 100 de betteraves est de 3,65 seulement. Si l'on retire 80 % de jus, on voit qu'il entrera à la défécation, pour 100 de betteraves, $0,80 \times 3,65$ ou 2,92 % de sels et, en admettant qu'on en sépare la moitié dans le travail, il devra en rester dans la masse cuite encore 1,46 %.

Pour rendre les calculs plus simples, on pourrait établir la formule suivante.

Soit N la proportion de sels étrangers dans 100 p. de jus de betteraves,

S la quantité de jus retirée,

n la proportion de sels qui passe dans la masse cuite.

On a

$$n = \frac{N \times 96 \times S}{2 \times 100 \times 100}$$

ou, dans l'emple choisi,

$$n = \frac{3,8 \times 96 \times 80}{2 \times 100 \times 100} = 1,46\ \%.$$

A l'aide de ces calculs, on détermine non seulement la quantité de masse cuite en fonction de la nature des jus, mais encore la qualité et la composition de cette masse cuite.

Ainsi, nous avons trouvé les chiffres ci-après:

Sucre dans la masse cuite . . . . z = 7,95 % du jus
Sels étrangers „ „ . . . . . n = 1,46 - -
Soit, comme principes solides desséchés dans la masse cuite . . . . . 9,41 % du jus.
La quantité d'eau varie de 4 à 13 % dans les diverses fabriques; en admettant ici 10 %, soit . . . . . 0,94.
On trouve pour le poids total de masse cuite . . . . . 10,35 % du jus.

D'autre part, ces chiffres permettent de calculer a priori la qualité de la masse cuite ou sa richesse polarimétrique rapportée à 100 de matières solides, car on a la proportion

$$\frac{9{,}41}{7{,}95} = \frac{100}{x} \text{ d'où}$$

$$x = \frac{100 \times 7{,}95}{9{,}41} = 84{,}5\ \%.$$

En d'autres termes avec des betteraves de cette qualité, le fabricant obtiendra une cuite polarisant à 84,5 %.

Si maintenant on veut exprimer par une formule ce calcul de la masse cuite, on peut procéder de la façon suivante.

Soit W la quantité % d'eau dans la masse cuite.
F la quantité de masse cuite qu'on retirera.
Z la quantité de sucre dans 100 de betteraves, c'est-à-dire le degré polarimétrique multiplié par 0,96.
S la quantité de jus extraite en taux % du poids des betteraves.
V la perte en jus pendant la fabrication (10 % du jus extrait).
N le taux des matières étrangères dans 100 de betteraves, c'est-à-dire la différence entre les indications de l'aréomètre Balling et du polarimètre multipliée par 0,96.

La formule cherchée sera

$$F = Z\ (S - V) + \frac{NS}{2} + W.$$

Soit, en introduisant dans cette expression les coëfficients du cas particulier que nous avons pris pour exemple,

$$F = 11{,}04 \times (80 - 8) + \frac{3{,}6 \times 0{,}80}{2} + 0{,}95 = 10{,}35\ \%$$

ce qui concorde avec le chiffre de 10,4 % donné dans la table ci-après.

Veut-on encore savoir combien on obtiendra de sucre brut d'une richesse déterminée, il suffit de calculer le poids de ce sucre sec en retranchant de la formule qui donne le poids du sucre dans la masse cuite, $z = Z\ (S - V)$ la quantité des sels étrangers, $n = \frac{NS}{2}$. Cette méthode revient à admettre qu'une partie de sels retient dans les sous-produits incristallisables une partie de sucre.[1] Ainsi, ici, par exemple, on a:

$$\begin{array}{r} 7{,}95\ \% \\ -\ 1{,}46\ \% \\ \hline 6{,}49\ \%. \end{array}$$

A ce chiffre de sucre pur, il faudrait ajouter les matières étrangères qu'on laisse dans le sucre et qu'on vend avec lui. Ainsi, du sucre à 94 % de richesse, par exemple, contient 4 p. de sels étrangers et 2 p. d'eau, ce qui fait, rapporté à 100 de betteraves 0,47 %. En l'ajoutant au chiffre de sucre pur, 6,49, trouvé plus haut, on a pour la proportion totale du sucre brut 6,88 %.

Ce calcul se représentera par la formule très-simple

$$\text{Sucre brut} = z - n + D\ \%$$

où D serait la différence entre 100 et la richesse absolue de sucre brut.

On voit, d'après ce qui précède, combien il est facile de calculer la quantité et la qualité de masse cuite, ainsi que le rendement en sucre brut d'une richesse donnée. — On peut aussi déterminer approximativement à l'avance la proportion de mélasse de la manière suivante:

---

1) Cette hypothèse expérimentale reste la seule admissible, jusqu'à ce qu'on ait trouvé une méthode plus précise pour évaluer l'action des sels.

La masse cuite renfermait en sels étrangers . . 1,46 %
sur lesquels on a vendu avec le sucre brut et comme sucre 6,49 × 0,04 . . . . . 0,26 -

Il reste donc comme sels . . . . . 1,20 %
qui empêchent la cristallisation d'un poids égal de sucre, si . . . . . 1,20 -

La mélasse renferme donc comme matières solides 2,40 -
auxquelles il faut ajouter comme eau 23 % de leur poids, ci. . . . . 0,55 -

On obtient donc, comme proportion totale de mélasse . . . . . 2,95 %
si l'on néglige les pertes ou les réductions par les cuites successives.

A l'aide des formules qui précèdent, chaque fabricant peut, en tenant compte des conditions particulières où il se trouve, déterminer le rendement de sa fabrication. Il a donc là un moyen de diriger ses expériences, de contrôler la théorie par la pratique, ou réciproquement, et ce sont des études aussi fructueuses qu'intéressantes.

En partant des principes exposés plus haut, et pour faciliter les calculs pratiques, on a établi les tables suivantes,[1] qui fournissent immédiatement les rendements moyens en masse cuite, en sucre brut et en mélasse pour les diverses compositions des jus et les divers rendements de la pulpe. Les chiffres de ces tables montrent donc ce qu'il est possible d'obtenir réellement dans les diverses conditions et le rendement que le fabricant peut s'imposer d'atteindre dans son travail. Si ce chiffre ne se réalise pas, c'est qu'il y a, à coup sur, un vice dans les méthodes et qu'il faut améliorer les conditions de marche.

J'espère que ces tables pourront être de quelque utilité pour beaucoup de fabricants, surtout si l'on a soin de tenir compte des différences dues aux circonstances locales.

---

1) On a admis que, sur les chiffres fournis par l'aréomètre de Balling dans le jus brut, il y avait 75 % de sucre pur. Ce rapport est en effet très-sensiblement exact en moyenne dans la pratique en grand. Toutefois il ne faut pas oublier que cette proportion peut être sujette dans certains cas à des exceptions.

Produit de 100 k^mes de betteraves.

Rendement en jus de 80 %.

Degrés Baumé du jus	Taux % Balling	Composé de		En masse cuite %	En sucre brut à 94 % %	En mélasse %
		sucre %	sels étrangers %			
6	10,8	8,1	2,7	7,3	4,8	2,3
6 1/2	11,7	8,77	2,43	7,9	5,2	2,5
7	12,6	9,45	3,15	8,5	5,6	2,6
7 1/2	13,5	10,1	3,4	9,1	6	2,8
8	14,4	10,8	3,6	9,7	6,4	3
8 1/2	15,3	11,5	3,8	10,4	6,8	3,2
9	16,2	12,15	4,05	10,9	7,2	3,4
9 1/2	17,1	12,8	4,3	11,5	7,6	3,6
10	18	13,5	4,5	12,2	8	3,8

Rendement en jus de 90 %.

Degrés Baumé du jus	Taux % Balling	Composé de		En masse cuite %	En sucre brut à 94 % %	En mélasse %
		sucre %	sels étrangers %			
6	10,8	8,1	2,7	8,2	5,4	2,5
6 1/2	11,7	8,77	2,43	8,9	5,9	2,7
7	12,6	9,45	3,15	9,6	6,3	2,9
7 1/2	13,5	10,1	3,4	10,3	6,7	3,1
8	14,4	10,8	3,6	10,9	7,2	3,3
8 1/2	15,3	11,5	3,8	11,5	7,8	3,5
9	16,2	12,15	4,05	12,2	8,3	3,7
9 1/2	17,1	12,8	4,3	13	8,6	3,9
10	18	13,5	4,5	13,7	9	4,2

Remarque. On a supposé que la composition des sels était la même que dans de bonnes betteraves.

Chapitre VIII.

Sur les pertes de sucre en fabrication et des moyens de les prévenir.

D'après les chiffres des tableaux qui précèdent, on ne retire dans la pratique que 7 % au plus de sucre raffiné, avec des betteraves contenant 12 % de sucre pur. Aux yeux de tout industriel qui réfléchit, c'est là un résultat qu'on ne saurait taxer de satisfaisant. Mais, pour améliorer à cet égard nos méthodes, la première condition est de déterminer les pertes qui se produisent dans les diverses phases du travail, et je crois utile de résumer à ce sujet quelques indications empruntées à la pratique.

Si le fabricant tient une comptabilité exacte du travail, si les chiffres de ses registres sont bien la représentation fidèle de la réalité, rien n'est plus facile, à la fin de chaque semaine ou à un moment quelconque, que de contrôler la marche de la fabrication.

On connait le poids des betteraves mises en œuvre et la valeur moyenne des essais au polarimètre faits sur le jus brut; (pour que ces essais représentent une plus grande quantité de racines, on opère sur des échantillons de jus prélevés à la presse). On connait donc exactement la quantité totale de sucre que renfermaient les betteraves, puisqu'il suffit de multiplier le poids de racines par la richesse des jus réduite dans le rapport de 96 à 100, de façon à tenir compte des matières solides de la pulpe.

Supposons que, pendant une semaine, on ait travaillé 300,000 kilogrammes de betteraves, dont le jus marquait au polarimètre 12,5 %. Cette quantité représentait comme sucre 3000 × 12,5 × 0,96, ci . . . . . 36,000 k^os

En second lieu, d'après le nombre des chaudières de défécation et leur contenance, on calcule la quantité de jus livrée à la défécation. Supposons qu'on ait trouvé 240,000 k^os de jus marquant encore 12°,5. Cette quantité représentera, en sucre, à l'entrée à la défécation, 2400 × 12,5 ci . . . . . 30,000 k^os

On a donc perdu . . . . . 6,000 k^os

soit 2 % du poids de la betterave.

Si maintenant le fabricant a mesuré à l'aide d'un compteur le jus clair sortant de la défécation et de la saturation, il peut connaître sans peine le poids de ce jus; d'autre part il peut l'essayer chaque jour au polarimètre, en faisant, par exemple, un essai par chaudière et par jour. (Dans les analyses il importe d'éliminer la majeure partie de la chaux soit par l'acide carbonique, soit par l'acide phosphorique.) Du degré polarimétrique du jus on peut déduire la quantité totale de sucre qui passe à la filtration.

Admettons par exemple, que, dans le cas particulier cité plus haut, on ait trouvé 235,400 k^{os} de jus polarisant, après complète neutralisation à 12,3 %; on aura $2354 \times 12,3$ ci

28,954 k^{os} de sucre.

Comme le jus arrivant à la défécation
en renfermait . . . . . 30,000 - - -

La perte dans cette station est de . 1,046 k^{os} de sucre, soit 0,35 % de sucre.

Jusqu'à ce moment, les mesures peuvent s'effectuer sans difficulté, mais le problême devient plus compliqué et le contrôle plus délicat pour les opérations suivantes de la filtration et de l'évaporation, attendu que, dans un travail en grand, la présence des eaux de dégraissage empêche de prendre des mesures précises.

La chose est toutefois plus simple, lorsqu'on comprend, dans les pertes dues à ces opérations, celles qui se produisent à la cuite, de façon à ne représenter l'ensemble de ces trois stations que par un seul chiffre. Ce résultat est du reste généralement suffisant pour la pratique, attendu que dans le cas où l'on constaterait des pertes anormales sur cette période du travail, il serait toujours facile de recourir à des contrôles spéciaux et rigoureux.

Le fabricant connait toujours le poids de la masse cuite; il n'aura donc à se préoccuper que de sa richesse saccharine.

Supposons par exemple qu'on obtienne, dans le cas précédent, 36,000 k^{os} de masse cuite polarisant à 76 %. Sur la quantité de sucre sortant de la défécation . . . 28,954 k^{os}
il ne resterait donc que . . . . . 27,360 -
et la perte dans cette station représenterait . . 1,594 k^{os}
soit 0,53 %.

Il ne reste plus qu'à déterminer la perte qui se produit dans le travail de la masse cuite. Admettons que cette masse renferme 10 % d'eau; le chiffre cité plus haut de 36,000 k^os^ de masse cuite représenterait 32,400 k^os^ de masse desséchée. Ce produit contenait 36,000 × 0,41 ou 5040 k^os^ de substances étrangères qui empêchent de cristalliser un poids égal de sucre, soit 1,68 %. Par suite, on trouve

pour 32400 k^os^ de masse cuite
10080 - de mélasse

et on retire 22320 k^os^ de sucre brut.

Dès-lors, les pertes durant la fabrication, pour notre exemple, ressortiraient ainsi qu'il suit:

à l'extraction du jus	2,00 % de sucre
à la défécation	0,35 - - -
à la filtration et à la cuite . .	0,53 - - -
dans la mélasse	1,68 - - -
	4,56 % de sucre.

Sur les 12 % de sucre que renfermait la betterave, on voit que 4,56, soit plus du tiers, est perdu. Toutefois, nous devons reconnaître que ces chiffres peuvent varier notablement avec les diverses méthodes de travail.

Nous nous trouvons actuellement conduits à une question capitale: comment éviter ces pertes ou tout au moins en réduire l'importance? Pour traiter ce sujet, nous devons passer en revue les différents travaux en discutant les bases qui ont servi à nos évaluations.

En ce qui concerne l'extraction du jus, le contrôle le plus simple et le plus exact consiste à mesurer ou peser la quantité de jus réellement produite. Toutes les déterminations basées sur le dosage du sucre dans les résidus de pulpe sont exposées à des erreurs plus ou moins considérables. Dans la macération notamment, les évaluations de ce genre supposent qu'on presse la pulpe macérée pour en polariser le jus dilué et déduire de là la teneur en sucre de la pulpe. Or, les résultats de cette

nature sont forcément très-problématiques. Souvent on néglige de ramener le taux de sucre ainsi trouvé dans les petites eaux à du jus de la densité primitive. D'autre part, toute erreur se trouve multipliée par le rapport de l'eau ajoutée pour la macération au jus primitif.

Avec les résidus de turbinage de la pulpe, la teneur de sucre telle que l'accusent les jus résultant de la pression de cette pulpe est déjà inexacte, car la durée de la macération dans la turbine est beaucoup trop faible pour que le mélange soit complet. C'est d'ailleurs pour ce même motif que l'on se trouve amené dans la pratique à ajouter aux turbines de si fortes quantités d'eau (jusqu'à 70 %), si l'on veut arriver à un rendement en jus à peu près satisfaisant.

On peut d'ailleurs s'en assurer directement. Si on abandonne les résidus à eux-mêmes et qu'on ne les presse pour en essayer ce jus qu'au bout d'une heure ou deux, on trouve toujours un degré plus élevé que par l'observation immédiate.

Lorsqu'on travaille avec les presses hydrauliques et surtout lorsqu'on presse deux fois avec addition d'eau, il n'est pas toujours exact d'admettre que le jus retenu dans la pulpe ait la même concentration que celui qui s'écoule. Il reste en effet des cellules non déchirées qui renferment du jus non dilué. C'est un point dont il importe de tenir grand compte dans toutes les méthodes d'extraction. On en a d'ailleurs une preuve convaincante dans les calculs mis en avant pour prôner certaines méthodes. On n'accusait dans les résidus qu'une très-faible proportion de sucre et, en même temps, le rendement en masse cuite ne concordait plus avec la quantité de jus qu'on avait dû produire d'après le calcul précédent, indice évident d'une erreur dans ce calcul.

En résumé, nous ne pouvons qu'insister sur la nécessité de mesures directes du jus produit et de sa composition. Si, dans ces conditions, le fabricant constate que les pertes de sucre sont trop notables, ou mieux, son rendement final trop faible, il devra mettre ses soins à améliorer les conditions de

l'extraction du jus, en tenant compte des indications renfermées dans le corps de cet ouvrage.

Les pertes à la défécation et à la saturation sont relativement faibles. Suivant le volume et le poids des dépôts, la perte de jus peut être évaluée de 3 à 9 %. Là encore, le contrôle le plus exact du rendement consistera dans l'emploi de bacs jaugés ou de compteurs, de façon à déterminer la perte par différence entre les volumes de jus avant et après la défécation. Ce mesurage indique immédiatement au fabricant l'importance de la perte de jus et la polarisation lui apprend s'il à se précautionner contre des pertes de nature chimique.

En ce qui concerne la première de ces pertes, le remède se trouvera dans une pression plus complète des écumes, peut-être aussi dans le traitement de ces résidus par les eaux de dégraissage des filtres. Quant à la perte chimique due à la présence des alcalis, il est extrêmement rare qu'elle atteigne l'importance que quelques auteurs ont prétendu lui donner.

Dans l'évaporation, les pertes de jus résultant de l'entraînement et des projections sont toujours assez faibles du moment où le jus ne déborde pas. Elles représentent au maximum ½ % du volume total. D'autre part, le sucre n'éprouve aucune altération si le travail est rapidement mené. A la filtration, j'ai vérifié par de nombreux essais une perte de 5 à 6 % de jus; ce chiffre correspond, suivant que les jus renferment 14, 12 ou 10 % de sucre à une perte de 0,77, 0,66 ou 0,55 de sucre pour 100 de jus. Du reste si l'on observe à cette station une perte trop considérable, on doit l'attribuer, soit à un mauvais dégraissage, et on s'en assure par l'essai polarimétrique des petites eaux, soit à la présence dans les jus d'un excès de matières organiques qui agissent comme ferments et détruisent le sucre. On sait avec quelle facilité les jus végétaux entrent en fermentation aux températures de 20 à 30°. On sait aussi que les dissolutions sucrées, par le fait seul d'un commencement de fermentation, ne laissent plus cristalliser la totalité du sucre qu'elles renferment. Pour confirmer l'influence de ce fait sur le rendement en sucre, il nous suffira de rappeler que le jus

de la canne à sucre, dans lequel, à côté de 20 % de sucre, il n'existe que 0,17 % de sels minéraux et 0,023 % de principes organiques[1], fermente si rapidement sous la température des tropiques, que pendant longtemps des hommes comme Casaux, Dutrône, Proust, admettaient la préexistence dans la canne d'un sucre incristallisable, tandisque cette matière est un résultat de la fermentation.

Les accidents de ce genre sont encore bien plus à redouter pour nos eaux de dégraissage, qui renferment souvent trois et quatre fois plus de principes organiques ou de ferments, à côté d'une proportion de sucre extrêmement faible. Aussi, est-ce à cette cause qu'il faut attribuer les pertes qu'on observe dans beaucoup de fabriques et qui dépassent notablement nos appréciations rationnelles. Le plus souvent, on emploie de trop grands filtres, dont le dégraissage fournit en très-peu de temps des quantités d'eaux trop fortes pour que les appareils d'évaporation puissent les concentrer avec la rapidité voulue.

Dans ces conditions, il n'y a rien de suprenant à ce que la fermentation se développe, surtout dans les années humides où les jus sont chargés de principes organiques. Le fabricant doit donc toujours veiller avec soin de ce côté dès qu'il constate une diminution dans le rendement. Ainsi, j'ai vu dans une fabrique la perte s'élever à 2,2 % de sucre pour la filtration seulement, et cela comme conséquence unique d'un commencement de fermentation.

Quant au sucre retenu dans la mélasse, la perte résultant de ce chef serait la plus difficile à combattre. Les sels exercent à ce point de vue une influence indiscutable, suivant leur proportion et leur nature, mais ce n'est pas là la cause unique de la formation de la mélasse. Melsens[2] en cite une preuve intéressante: il fit évaporer 40 litres de jus, incinéra le résidu et ajouta les sels provenant de cette calcination à 10 litres de jus de betteraves. Celui-ci se trouvait donc contenir cinq fois

---

1) Péligot, Recherches sur la composition chimique de la canne à sucre (Paris, 1840).

2) Melsens, Nouveau procédé pour l'extraction du sucre (Bruxelles, 1849).

sa proportion normale de sels et dès-lors il n'aurait plus dû donner de sucre cristallisable. Cependant on retira des cristaux, et ce fait prouve que les sels, même à dose aussi forte, n'exercent pas l'influence considérable qu'on leur attribue généralement. De même, quand on prend du sucre parfaitement pur, ne contenant pas trace de sels, qu'on le dissout et qu'on le maintient à l'ébullition, il se forme toujours plus ou moins de mélasse.

L'action de la chaleur sur le sucre en présence des matières organiques que renferme l'eau parait donc une des causes de la production des mélasses.

Pour réduire cette perte, le fabricant doit chercher, dans le travail antérieur de l'épuration des jus, à éliminer le plus complètement possible les matières étrangères, minérales ou organiques. Tout au moins doit-il chercher à les transformer en composés moins nuisibles. Ce sont des questions que nous avons traitées à propos de la filtration et du travail des jus.

Quant à espérer annuler complètement ces pertes, ce serait une tentative vaine. On aura toujours des pertes. Ce que l'on peut affirmer en revanche, c'est qu'on peut souvent les réduire à un minimum. Ainsi, si l'on prend les chiffres ordinaires de pertes relatives à 100 k^{os} de betteraves renfermant 12,5 %, on peut les réduire de près de moitié, savoir:

			de sucre
à la production des jus, à . . .	0,75 %	au lieu de	2,00 %
à la défécation	0,25 %	- - -	0,35 %
à la filtration et à la cuite . . .	0,50 %	- - -	0,53 %
dans les mélasses	1,00 %	- - -	1,68 %
soit, au total: . . .	2,50 %	au lieu de	4,56 %.

Ainsi, sur 12,5 % de sucre on retirerait 10 %, soit 80 % de la richesse théorique de la betterave. Quant à dépasser cette limite, c'est une question qui ne pourra être résolue que par de nouveaux progrès dans notre industrie.

Chapitre IX.

De l'organisation de la main-d'œuvre.

Le nombre des ouvriers nécessaires à une fabrique varie très-notablement dans les divers pays, suivant les conditions d'installation, les méthodes de fabrication adoptées, la quantité de travail que peut développer chaque homme. Toutefois, il peut être à certains points de vue intéressant de donner une idée approximative du nombre d'ouvriers occupés aux diverses phases du traitement, et j'ai réuni ci-après quelques données à ce sujet. Ce sont des moyennes déduites, soit d'un grand nombre d'expériences personnelles, soit de renseignements fournis par divers industriels.

Pour travailler 50,000 k^es^ de betteraves par jour, on doit compter par poste

		moyenne
pour le transport des betteraves, le lavage, etc.	10 à 15	12
pour la production du jus par la pression simple	25 à 33	28
par la pression double	30 à 37	—
par la macération.	9 à 12	—
par les turbines	10 à 13	—
pour la défécation, la saturation, la filtration et l'évaporation	8 à 13	11
pour la cuite et le travail du sucre .	8 à 12	10
(pour la fabrication des mélis) . . .	15	—
pour la revivification du noir. . . .	11 à 18	13
pour les générateurs et le transport du charbon	3 à 6	5
pour les machines.	2 à 6	3
hommes de peine (lampiste, portier . .)	6 à 10	8
soit, par poste, et en moyenne		90.

On doit donc compter, pour 50,000 k^os^ et par 24 heures, 180 ouvriers, ce qui correspond à 280 k^os^ de betteraves travaillées par ouvrier. Il y a encore beaucoup de fabriques, en Russie notamment, où chaque ouvrier ne correspond qu'à 200 k^os^ ou même moins. Ce rendement est loin d'être satisfaisant, car dès 1812, au début de la fabrication, Achard atteignait déjà ce chiffre. On a donc encore, sur beaucoup de points, et dans cet ordre d'idées à réaliser d'importantes améliorations, et l'on peut citer comme modèle à suivre sous ce rapport les installations des fabriques françaises.

Chapitre X.

Installation et travail des raffineries.

Les bâtiments destinés au service d'une raffinerie exigent un développement beaucoup plus considérable que pour le cas d'une fabrique de sucre de betteraves. Généralement, ces constructions se font exclusivement en fer et en pierre de façon à offrir toute garantie contre les dangers d'incendie. Ces précautions s'expliquent d'ailleurs par ce fait qu'une raffinerie outillée pour travailler 5 ou 6 millions de sucre brut renferme des approvisionnements pour une valeur considérable; l'économie due à l'emploi du bois serait donc compensée et beaucoup au-delà par la prime d'assurances plus forte que réclameraient les compagnies.

A côté des conditions de sécurité, les plans d'une raffinerie doivent satisfaire pour les divers locaux de l'usine aux relations de grandeur et de position les plus convenables pour un travail régulier. Nous ne saurions, sans dépasser les limites de notre cadre, nous arrêter plus longuement sur ce sujet et

nous nous bornerons à présenter quelque données sur l'importance approximative des divers produits dans une fabrication journalière courante.

Une raffinerie outillée pour travailler journellement 25000 k^es de sucre brut produit à peu près la même quantité de masse cuite, attendu que les pertes à la filtration sont compensées par la quantité d'eau qui reste à la sortie des appareils de cuite. — Il suit de là qu'on aura à la cuite en sucre raffiné environ $\frac{25000}{15}$ ou 1667 pains de 15 k^es chacun.

Chaque forme rend en moyenne 30 % de sirop vert et 20 % de sirop de clairce, soit 50 % en tout de la masse cuite. Mais comme, dans la pratique, il est difficile de délimiter nettement les sirops verts des sirops de clairce attendu, comme nous l'avons fait remarquer, que ces produits se mélangent toujours en partie, nous compterons 40 % au minimum de sirops verts, qui peuvent être envoyés à la cuite des Lumps, pendant que 10 % de sirop de clairce rentrent dans les raffinés. Ce sirop de clairce à 70 % de richesse saccharine ajouté au produit des formes donne au total une production journalière de 26750 k^es de masse cuite soit 1783 pains de raffiné. — Si le travail des greniers dure pour ce produit 10 jours, il faudra que les lits contiennent la place suffisante pour loger 17830 formes. D'autre part, en comptant pour la dessiccation sur 8 journées, on voit que les étuves devront pouvoir contenir au minimum 1738 × 8 ou 14264 pains.

Les 26750 k^es de masse cuite donnent, à 40 %, 10700 k^es de sirop vert que l'on doit concentrer de 60 % Balling à 90. On obtient ainsi 715 k^es environ de masse cuite pour Lumps, laquelle emplit, à 16^k,75, environ 429 formes à lumps. A cette quantité s'ajoute, comme pour les raffinés, 10 % de sirop de clairce à 70 % représentant la valeur de 30 formes, ce qui porte la fabrication journalière des produits de cette espèce à 459 formes. Si l'on compte 8 jours pour la transformation de ces lumps en produits marchands, on devra réserver sur les lits la place de 459 × 8 ou 3672 formes.

La totalité de cette masse cuite pour lumps rend à peu près 66 ⅔ % soit 5100 k^es de sucre blanc qu'on utilise pour la préparation des clairces. Comme on opère journellement sur 1783 pains de raffiné, que chaque pain, en dehors du sucre qu'on lui emprunte, exige pour son clairçage environ 2 k^es de sucre, on voit que la préparation des clairces pour raffinés consommera 1783 × 2 soit 3600 k^es environ de sucre blanc; le reste des lumps, soit 1500 k^es de sucre blanc, suffit pour le blanchement des lumps eux-mêmes. Dans ces conditions, la totalité des sucres de lumps sert comme on le voit à la clairce des produits de différente nature.

Le sirop vert provenant des 7150 k^es de cette masse cuite représente, à raison de 30 ou 40 %, 3050 k^es que l'on concentre de 60 à 90 %, de façon à obtenir environ 2050 k^es de masse cuite de bâtardes. Ce dernier produit correspond à 123 formes environ, et rend, suivant sa qualité, suivant le travail, de 20 à 40 % de sucre blanc. A 30 % par exemple, on obtient ainsi 600 k^es de sucre blanc qu'on mélange aux raffinés ou qu'on vend à l'état de farine si les conditions commerciales s'y prêtent.

Dans le traitement des bâtardes, on obtient 2050—600 soit 1450 de sirop de purge qui, concentré lui-même, donne des bâtardes de seconde qualité. Ce produit représente environ 500 k^es par jour de sucre jaune qu'on ramène dans les Lumps. Les 950 k^es de sirop sont recuits, et laissés dans de grands réservoirs où ils cristallisent lentement avec un rendement de 20 % de sucre jaune. Ils donnent en même temps 765 k^es de sirop inutilisable en raffinerie, soit 3 % de la quantité de sucre brut mise en œuvre.

A la raffinerie de Smela, en 1860, j'appliquai la marche de travail qui vient d'être esquissée dans les lignes précédentes. J'obtins ainsi, un raffiné extrêmement fin, très-uniforme en même temps que les frais de l'usine se trouvaient notablement réduits.

Nous reproduisons ici quelques-uns des poids moyens relevés à Smela et relatifs aux raffinés aux diverses phases de la fabrication. Ces chiffres pourront servir aux raffineurs pour établir eux-mêmes leurs calculs et leurs rendement.

Un pain de masse cuite de raffiné pèse	15k,439
Un pain après enlèvement du fond	14k,330
On enlève pour le premier clairçage à l'eau . . .	0k,625
Un pain de raffiné avant le clairçage pèse . . .	13k,689
Un pain après les clairçages	13k,626
Un pain avant la sucette	11k,646
Un pain après la sucette	11k,127
Un pain après la dessiccation à l'étuve	10k,525
Les pains donnent en sirop vert	1k,106
Les pains à la claircе à l'eau	0k,644
Les pains à la claircе au sirop	5k,356
Total . . .	7k,106
Les pains perdent en humidité sous l'action de la sucette	0k,519
- - - - à l'étuve	0k,619

Enfin, à titre de conclusion, nous reproduirons quelques indications sur la répartition du personnel dans une raffinerie outillée pour travailler journellement 25000 k^es^ de sucre soit en chiffres ronds 1800 pains:

Clarification, filtration, etc.	6 à 7	par poste
Cuite, emplissage, lavage des formes . . .	13 à 15	- -
Transport et dressage des formes	7 à 8	- -
Pour chaque clairçage 2 8 ouvriers, soit, en comptant 5 à 6 clairçages	12 à 16	- -
Plamotage ou enlèvement de la patte . .	4 à 5	- -
Transport aux étuves	5 à 8	- -
Retrait des étuves, empaquetage	12 à 14	- -
soit pour les raffinés	59 à 73	par poste
D'autre part, on compte, pour les turbines et les sousproduits	12 à 13	ouvriers
pour les générateurs	4 à 6	-
pour les fours à noir	15 à 20	-
Soit, en tout, et sans comprendre le personnel accessoire de toute usine, de . .	90 à 112	-

TABLES.

Degrés Baumé	Poids de 1000 litres de dissolutions sucrées à différents degrés Baumé : Densités et teneurs en sucre correspondantes.					Réductions successives de poids d'une dissolution sucrée pour les différents degrés Baumé.	
	1000 litres			1000 kilogrammes			
	pèsent	renferment		renferment		1000 kmes se réduisent à	perte d'eau correspondante
		sucre	eau	sucre	eau		
1	1007	18,59	988,55	18,37	981,63	499,98	500,02
2	1014	37,25	976,75	36,74	963,26	333,40	666,60
3	1022	56,32	965,68	55,11	944,89	250,00	750,00
4	1029	75,61	953,39	73,48	926,52	199,89	811,11
5	1036	95,61	940,84	91,85	908,15	166,66	833,34
6	1044	115,07	928,93	110,22	889,78	142,84	857,15
7	1052	135,28	916,72	128,59	871,41	124,89	875,11
8	1060	155,78	904,22	146,96	853,04	100,00	900,00
9	1067	176,41	890,59	165,33	834,67	90,90	909,10
10	1075	197,48	877,52	183,70	816,30	83,33	916,67
11	1091	240,50	850,50	220,44	777,56	76,92	923,08
12	1108	286,95	823,05	257,18	742,82	66,66	933,34
13	1116	307,51	808,49	275,55	724,45	62,50	937,50
14	1125	330,66	794,34	293,92	706,08	55,62	944,38
15	1143	377,49	765,51	380,26	669,74	50,00	950,00
16	1161	426,55	734,45	367,40	632,60	45,45	954,55
17	1181	477,29	703,71	404,14	595,86	43,48	956,52
18	1199	528,62	670,38	440,88	559,12	40,00	960,00
19	1210	555,69	654,31	459,25	540,75	38,51	961,49
20	1221	583,17	637,83	477,62	522,38	36,89	963,11
21	1242	638,84	603,16	514,86	485,64	35,71	964,29
22	1261	694,94	566,06	551,10	448,90	33,33	966,66
23	1286	755,96	530,04	587,84	412,16	32,26	967,74
24	1309	817,57	491,43	624,58	375,42	30,30	969,70
25	1321	849,34	471,66	642,95	355,05	29,41	970,59
26	1334	882,20	451,80	661,32	338,68	28,57	971,43
27	1359	948,66	410,34	698,06	301,94	27,78	972,22
28	1384	1016,96	397,04	734,80	265,20	26,31	973,69
29	1412	1089,41	322,59	771,54	228,46	25,00	975,00
30	1440	1163,92	276,08	808,27	191,72	23,81	976,19
31	1454	1201,95	252,05	826,65	173,85	22,72	977,28
32	1460	1242,18	227,82	845,20	154,98	21,74	978,26
33	1501	1323,52	177,48	881,76	118,24	20,83	979,17
34	1532	1407,14	124,86	918,50	81,50	20,00	980,00

Table
de réduction des degrés Brix en degrés aréométriques Baumé.

Taux % de sucre.	Degrés Baumé.	Densité.	Taux % de sucre.	Degrés Baumé.	Densité.
0	0,00	1,0000	51	27,71	1,2383
1	0,56	1,0039	52	28,24	1,2439
2	1,11	1,0078	53	28,75	1,2495
3	1,67	1,0117	54	29,27	1,2552
4	2,23	1,0157	55	29,79	1,2609
5	2,78	1,0197	56	30,31	1,2666
6	3,34	1,0237	57	30,82	1,2724
7	3,89	1,0278	58	31,34	1,2782
8	4,45	1,0319	59	31,85	1,2840
9	5,00	1,0360	60	32,36	1,2899
10	5,56	1,0401	61	32,87	1,2958
11	6,11	1,0443	62	33,38	1,3018
12	6,66	1,0485	63	33,89	1,3078
13	7,22	1,0528	64	34,40	1,3138
14	7,77	1,0570	65	34,90	1,3199
15	8,32	1,0613	66	35,40	1,3260
16	8,87	1,0657	67	35,90	1,3322
17	9,42	1,0700	68	36,41	1,3384
18	9,97	1,0744	69	36,91	1,3446
19	10,52	1,0787	70	37,40	1,3509
20	11,07	1,0833	71	37,90	1,3572
21	11,62	1,0878	72	38,39	1,3636
22	12,17	1,0923	73	38,89	1,3700
23	12,72	1,0969	74	39,38	1,3764
24	13,26	1,1015	75	39,87	1,3829
25	13,81	1,1061	76	40,36	1,3894
26	14,35	1,1107	77	40,84	1,3959
27	14,90	1,1154	78	41,33	1,4025
28	15,44	1,1201	79	41,81	1,4092
29	15,99	1,1249	80	42,29	1,4159
30	16,53	1,1297	81	42,78	1,4226
31	17,07	1,1345	82	43,25	1,4293
32	17,61	1,1393	83	43,73	1,4361
33	18,15	1,1442	84	44,21	1,4430
34	18,69	1,1491	85	44,68	1,4499
35	19,23	1,1541	86	45,15	1,4568
36	19,77	1,1591	87	45,62	1,4638
37	20,30	1,1641	88	46,09	1,4708
38	20,84	1,1692	89	46,56	1,4778
39	21,37	1,1743	90	47,02	1,4849
40	21,91	1,1794	91	47,48	1,4920
41	22,44	1,1846	92	47,95	1,4992
42	22,97	1,1898	93	48,40	1,5064
43	23,50	1,1950	94	48,86	1,5136
44	24,03	1,2003	95	49,32	1,5209
45	24,56	1,2056	96	49,77	1,5281
46	25,09	1,2110	97	50,22	1,5355
47	25,62	1,2164	98	50,67	1,5429
48	26,14	1,2218	99	51,12	1,5504
49	26,67	1,2278	100	51,56	1,5578
50	27,19	1,2328			

Table

de reduction des degrés aréométriques Baumé en degrés Brix.

Degrés Baumé.	Taux % de sucre.	Densité de la liqueur.	Degrés Baumé.	Taux % de sucre.	Densité de la liqueur.
0	0,00	1,0000	26	47,73	1,2203
0,5	0,90	1,0035	26,5	48,68	1,2255
1	1,80	1,0070	27	49,63	1,2308
1,5	2,69	1,0105	27,5	50,59	1,2361
2	3,59	1,0141	28	51,55	1,2414
2,5	4,49	1,0177	28,5	52,51	1,2468
3	5,39	1,0213	29	53,47	1,2522
3,5	6,29	1,0249	29,5	54,44	1,2576
4	7,19	1,0286	30	55,47	1,2632
4,5	8,09	1,0323	30,5	56,37	1,2687
5	9,00	1,0360	31	57,34	1,2743
5,5	9,90	1,0397	31,5	58,32	1,2800
6	10,80	1,0435	32	59,29	1,2857
6,5	11,70	1,0473	32,5	60,27	1,2915
7	12,61	1,0511	33	61,25	1,2973
7,5	13,51	1,0549	33,5	62,23	1,3032
8	14,42	1,0588	34	63,22	1,3091
8,5	15,32	1,0627	34,5	64,21	1,3151
9	16,23	1,0667	35	65,20	1,3211
9,5	17,14	1,0706	35,5	66,19	1,3272
10	18,05	1,0746	36	67,19	1,3333
10,5	18,96	1,0787	36,5	68,19	1,3395
11	19,87	1,0827	37	69,19	1,3458
11,5	20,78	1,0868	37,5	70,20	1,3521
12	21,69	1,0909	38	71,20	1,3585
12,5	22,60	1,0951	38,5	72,22	1,3649
13	23,52	1,0992	39	73,23	1,3714
13,5	24,43	1,1034	39,5	74,25	1,3780
14	25,35	1,1077	40	75,27	1,3846
14,5	26,27	1,1120	40,5	76,29	1,3913
15	27,19	1,1163	41	77,32	1,3981
15,5	28,10	1,1206	41,5	78,35	1,4049
16	29,03	1,1250	42	79,39	1,4118
16,5	29,95	1,1294	42,5	80,43	1,4187
17	30,87	1,1339	43	81,47	1,4267
17,5	31,79	1,1383	43,5	82,51	1,4328
18	32,72	1,1429	44	83,56	1,4400
18,5	33,65	1,1474	44,5	84,62	1,4472
19	34,58	1,1520	45	85,68	1,4545
19,5	35,50	1,1566	45,5	86,74	1,4619
20	36,44	1,1613	46	87,81	1,4694
20,5	37,37	1,1660	46,5	88,88	1,4769
21	38,30	1,1707	47	89,96	1,4845
21,5	39,24	1,1755	47,5	91,03	1,4922
22	40,17	1,1803	48	92,12	1,5000
22,5	41,11	1,1852	48,5	93,21	1,5079
23	42,05	1,1901	49	94,30	1,5158
23,5	42,99	1,1950	49,5	95,40	1,5238
24	43,94	1,2000	50	96,51	1,5319
24,5	44,88	1,2050	50,5	97,62	1,5401
25	45,83	1,2101	51	98,73	1,5484
25,5	46,78	1,2152	51,5	99,85	1,5568

8.

Pour les liquides noi e spéciale; alors les chiffres de la colonne *A* représentent les nombr tigrammes du sucre contenu dans un litre de liqueur.

Les nombres fournis nt premières lignes de la table; les trente lignes suivantes ont été aj vé, particulièrement pour la détermination du titre du vesou et du j é, on les ferait rentrer dans les limites de la table en les étendant d calcul.

de											Titres cherchés	
10°	11°	12°	13°	14°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	par poids *A*	par volume *B*
												grammes
1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1	1,64
2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	2	3,29
4,2	4,1	4,1	4,1	4,1	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3	4,94
5,6	5,5	5,5	5,5	5,5	5,2	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	4	6,58
6,9	6,9	6,9	6,9	6,8	6,4	6,4	6,4	6,4	6,3	6,3	5	8,23
8,3	8,3	8,3	8,2	8,2	7,7	7,7	7,7	7,7	7,6	7,6	6	9,98
9,7	9,7	9,7	9,6	9,6	9,0	9,0	9,0	8,9	8,9	8,8	7	11,52
11,1	11,1	11,0	11,0	11,0	10,3	10,3	10,2	10,2	10,2	10,1	8	13,17
12,5	12,5	12,4	12,4	12,3	11,6	11,6	11,5	11,5	11,4	11,4	9	14,82
13,9	13,8	13,8	13,7	13,7	12,9	12,8	12,8	12,7	12,7	12,6	10	16,47
15,3	15,2	15,2	15,1	15,1	14,2	14,1	14,1	14,0	14,0	13,9	11	18,11
16,7	16,6	16,6	16,5	16,4	15,5	15,4	15,3	15,3	15,2	15,2	12	19,76
18,1	18,0	17,9	17,9	17,8	16,8	16,7	16,6	16,6	16,5	16,4	13	21,41
19,5	19,4	19,3	19,2	19,2	18,1	18,0	17,9	17,8	17,8	17,7	14	23,05
20,8	20,8	20,7	20,6	20,5	19,3	19,3	19,2	19,1	19,0	19,0	15	24,70
22,2	22,2	22,1	22,0	21,9	20,6	20,6	20,5	20,4	20,3	20,2	16	26,35
23,6	23,5	23,5	23,4	23,3	21,9	21,8	21,7	21,7	21,6	21,5	17	28,00

155,5	154,9	154,3	132	200,94	158,1	157,5	156,9	124	204,24	169,6	169,0	168,4
156,8	156,2	155,6	133	202,59	159,4	158,7	158,1	125	205,89	171,0	170,3	169,7
158,1	157,5	156,9	134	204,24	160,6	160,0	159,4	126	207,53	172,4	171,7	171,1
159,4	158,7	158,1	135	205,89	161,9	161,3	160,6	127	209,18	173,7	173,1	172,5
160,6	160,0	159,4	136	207,53	163,2	162,6	161,9	128	210,82	177,9	177,3	176,6
161,9	161,3	160,6	137	209,18	164,6	163,8	163,2	129	212,47	179,3	178,7	178,0
163,2	162,6	161,9	138	210,82	165,7	165,1	164,4	130	214,21	180,7	180,0	179,4

...s étant prises à la température de											Titres cherchés	
10[illegible]5°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	par poids *A*	par volume *B*
												grammes
89,2	83,8	83,5	83,2	82,9	82,6	82,2	81,9	81,6	81,3	81,0	64	105,41
90,5	85,1	84,8	84,5	84,2	83,8	83,5	83,2	82,9	82,5	82,2	65	107,06
91,8	86,5	86,1	85,8	85,5	85,1	84,8	84,5	84,1	83,8	83,5	66	108,70
93,1	87,8	87,4	87,1	86,8	86,4	86,1	85,8	85,4	85,1	84,8	67	110,35
94,4	89,1	88,7	88,4	88,1	87,7	87,4	87,0	86,7	86,4	86,0	68	112,00
95,7	90,4	90,0	89,7	89,3	89,0	88,7	88,3	88,0	87,6	87,3	69	113,64
97,0	91,7	91,3	91,0	90,6	90,3	89,9	89,6	89,2	88,9	88,5	70	115,29
98,3	93,0	92,6	92,3	91,9	91,6	91,2	90,9	90,5	90,2	89,8	71	116,94
99,7	94,3	94,0	93,6	93,2	92,9	92,5	92,2	91,8	91,4	91,1	72	118,59
101,0	95,6	95,3	94,9	94,5	94,2	93,8	93,4	93,1	92,7	92,3	73	120,23
102,3	96,9	96,6	96,2	95,8	95,5	95,1	94,7	94,3	94,0	93,6	74	121,88
103,6	98,2	97,9	97,5	97,1	96,7	96,4	96,0	95,6	95,2	94,9	75	123,53
104,9	99,6	99,2	98,8	98,4	98,0	97,7	97,3	96,9	96,5	96,1	76	125,17
106,2	100,9	100,5	100,1	99,7	99,3	98,9	98,6	98,2	97,8	97,4	77	126,82
107,6	102,2	101,8	101,4	101,1	100,6	100,2	99,8	99,4	99,1	98,7	78	128,47
108,9	103,5	103,1	102,7	102,3	101,9	101,5	101,1	100,7	100,3	99,9	79	130,12
110,2	104,8	104,4	104,0	103,6	103,2	102,8	102,4	102,0	101,6	101,2	80	131,76
111,5	106,1	105,7	105,3	104,9	104,6	104,1	103,7	103,2	102,9	102,5	81	133,41
112,8	107,4	107,0	106,6	106,2	105,9	105,4	105,0	104,5	104,1	103,7	82	135,06
114,1	108,7	108,3	107,9	107,5	107,2	106,6	106,2	105,8	105,4	105,0	83	136,70
115,5	110,0	109,6	109,2	108,8	108,5	107,9	107,5	107,1	106,7	106,3	84	138,35
116,8	111,3	110,9	110,5	110,1	109,7	109,2	108,8	108,4	107,9	107,5	85	140,00
118,1	112,7	112,2	111,8	111,4	111,0	110,5	110,1	109,6	109,2	108,8	86	141,65
119,4	114,0	113,5	113,1	112,7	112,3	111,8	111,4	110,9	110,5	110,0	87	143,29
120,7	115,3	114,8	114,4	114,0	113,6	113,1	112,6	112,2	111,8	111,3	88	144,94
122,0	116,6	116,1	115,7	115,2	114,9	114,4	113,9	113,5	113,0	112,6	89	146,59
123,3	117,9	117,4	117,0	116,5	116,1	115,6	115,2	114,7	114,3	113,9	90	148,23
124,7	119,2	118,7	118,3	117,8	117,5	116,9	116,5	116,0	115,6	115,1	91	149,88
126,0	120,5	120,1	119,6	119,1	118,8	118,2	117,8	117,3	116,8	116,4	92	151,53
127,3	121,8	121,4	120,9	120,4	120,1	119,5	119,0	118,6	118,1	117,6	93	153,18
128,6	123,1	122,7	122,2	121,7	121,3	120,8	120,3	119,8	119,4	118,9	94	154,82
129,9	124,4	124,0	123,5	123,0	122,6	122,1	121,6	121,1	120,6	120,2	95	156,47
131,2	125,8	125,3	124,8	124,3	123,9	123,4	122,9	122,4	121,9	121,4	96	158,12
132,5	127,1	126,6	126,1	125,6	125,2	124,6	124,2	123,7	123,2	122,7	97	159,76
133,9	128,4	127,9	127,4	126,9	126,4	125,9	125,4	124,9	124,5	124,0	98	161,41
135,2	129,7	129,2	128,7	128,2	127,7	127,2	126,7	126,2	125,7	125,2	99	163,06
136,5	131,0	130,5	130,0	129,5	129,0	128,5	128,0	127,5	127,0	126,5	100	164,71
137,8	132,3	131,8	131,3	130,8	130,3	129,8	129,3	128,8	128,3	127,8	101	166,35
139,1	133,6	133,1	132,6	132,1	131,6	131,1	130,6	130,0	129,5	129,0	102	168,00
140,4	134,9	134,4	133,9	133,4	132,9	132,2	131,8	131,3	130,8	130,3	103	169,65
141,8	136,2	135,7	135,2	134,7	134,2	133,6	133,1	132,6	132,1	131,6	104	171,29
143,1	137,5	137,0	136,5	136,0	135,4	134,9	134,4	133,9	133,3	132,8	105	172,94
144,4	138,9	138,3	137,8	137,3	136,7	136,2	135,7	135,1	134,6	134,1	106	174,59
145,7	140,2	139,6	139,1	138,6	138,0	137,5	137,0	136,4	135,9	135,3	107	176,23
147,0	141,5	140,9	140,4	139,9	139,3	138,8	138,2	137,7	137,2	136,6	108	177,88
148,3	142,8	142,2	141,7	141,1	140,6	140,1	139,5	139,0	138,4	137,9	109	179,53
149,6	144,1	143,5	143,0	142,4	141,9	141,3	140,8	140,2	139,7	139,1	110	181,18
151,0	145,4	144,8	144,3	143,7	143,2	142,6	142,1	141,5	141,0	140,4	111	182,82
152,3	146,7	146,2	145,6	145,0	144,5	143,9	143,4	142,8	142,2	141,7	112	184,47
153,6	148,0	147,5	146,9	146,3	145,8	145,2	144,6	144,1	143,5	142,9	113	186,12
154,9	149,3	148,8	148,2	147,6	147,1	146,5	145,9	145,3	144,8	144,2	114	187,16
156,2	150,6	150,1	149,5	148,9	148,3	147,8	147,2	146,6	146,0	145,5	115	189,41
157,5	152,0	151,4	150,8	150,1	149,6	149,1	148,5	147,9	147,3	146,7	116	191,06
158,8	153,3	152,7	152,1	151,5	150,9	150,3	149,8	149,2	148,6	148,0	117	192,11
160,2	154,6	154,0	153,4	152,8	152,2	151,6	151,0	150,4	149,9	149,3	118	194,35
161,5	155,9	155,3	154,7	154,1	153,5	152,9	152,3	151,7	151,1	150,5	119	196,00
162,8	157,2	156,6	156,0	155,4	154,8	154,2	153,6	153,0	152,4	151,8	120	197,65
164,1	158,5	157,9	157,3	156,7	156,1	155,5	154,9	154,3	153,7	153,1	121	199,29

TABLE DES MATIÈRES

DU SECOND VOLUME.

LIVRE IV.

TRAITEMENT ET ÉPURATION DES JUS.

Pages

Chapitre I. Défécation simple 1

Appareils de défécation. 1 — Travail de la défécation. 3 — Théorie chimique. 6 — Composition des écumes. — Traitement des écumes. 22.

Chapitre II. Défécation par la méthode de Frey et Jellinek 28

Historique et théorie. 28 — Appareils et installation. 32 — Conduite du travail. 38 — Résultats du procédé Frey et Jellinek. 41 — Méthode Périer-Possoz. 49 — Production et dosage de l'acide carbonique. 54 — Pompes à gaz. 56.

Chapitre III. Considérations générales sur le traitement des jus après la défécation 58

Élimination et dosage de la chaux. 60 — Halomètre de Weiler. 62 — Procédés alcalimétriques. 64 — Action de l'acide carbonique. 67 — Évaporation préparatoire. 69 — Action du noir. — 71.

Chapitre IV. Décoloration et Épuration des jus défégués 75

Pouvoir décolorant du noir. 75 — Élimination des matières étrangères; Quotient de pureté. 80 — Action du noir. 85 — Action de la chaux. 87.

Chapitre V. Des divers procédés pour rendre inertes ou éliminer la chaux et les alcalis 94

Méthode de Michaëlis; Emploi du chlorure de calcium. 94 — Chlorure d'aluminium. 96 — Acide phosphorique. 97. — Procédés divers: caséine, savon, acide oléique, sulfate et sels d'alumine, acide pectique. 101.

Chapitre VI. Procédés d'Élimination des matières organiques 105

Emploi de l'acide sulfurique. 105 — Action de la chaux. 105 — Procédé Rousseau. 106 — Procédé Maumené. 110 — Emploi du tannin. 112 — Emploi de l'acide sulfureux et des sulfites. 114 — Emploi de l'oxyde de fer. 117 — Précipitation du sucre par la baryte. 118 — Traitement par l'alcool; Méthode de Schutzenbach. 120 — Dessiccation des cossettes. 128.

Pages

Chapitre VII. Traitement du jus par l'acide carbonique 136
Modes de production divers de l'acide carbonique. 136 — Fours à chaux. 138 — Action chimique de l'acide carbonique. 143.

Chapitre VIII. Filtration du jus par le noir 149
Historique. 149 — Disposition des filtres. 154 — Dimensions des filtres. 158 — Qualités du noir animal. 166 — Essai des noirs. 168 — Influence du mode et de la durée de la filtration. 178 — Dégraissage des filtres. 196.

Chapitre IX. Sur la quantité d'alcalis absorbée par le noir à la filtration 202
Effet absorbant du noir sur les sels alcalins. 202 — Expériences analytiques. 204 — Dosages pour différents sels. 206 — Conclusions pratiques. 211.

LIVRE V.

ÉVAPORATION ET CUITE DES JUS.

Chapitre I. Évaporation des jus 213
Évaporation à feu nu. 213 — Bassines de Hallette. 215 — Appareil à évaporer dans le vide. 219. — Entraînement des liquides sucrés; Colonnes de sûreté. 220 — Emploi de la vapeur détendue des machines. 229 — Appareils d'évaporation à effets multiples. 221 — Appareils de Rillieux. 233 — Appareils de Robert. 235 — Appareils évaporatoires à serpentins. 248 — Appareils tubulaires horizontaux. 253 — Pompes à air. 259.

Chapitre II. Cuite dans le vide 262
Modes de cristallisation du sucre. 262 — Appareils à cuire dans le vide. 263 — Discussion du travail du cuiseur. 269. — Appareils de contrôle. 281.

Chapitre III. Traitement des masses cuites. Extraction du sucre 283
Composition et rendement des masses cuites. 283 — Travail des premiers jets; Méthode des formes. 286 — Caisses de Schutzenbach. 289 — Turbines. 290 — Moulins à sucre. 295 — Comparaison des diverses méthodes. 298. — Travail des seconds jets. 301.

Chapitre IV. Considérations sur les modes de chauffage, d'évaporation et de concentration 305
Évaporation à l'air libre. 305 — Calcul des quantités de chaleur transmises. 306 — Évaporation par la vapeur surchauffée. 310.

Chapitre V. Traitement des mélasses par l'osmose 312
Mode de travail. 316 — Proportion des sels enlevés par les eaux d'exosmose. 319 — Analyses et essais. 320 — Influence de la température et de la durée de l'osmose. 323 — Prix de revient et bénéfices. 325.

Chapitre VI. Distillation des mélasses 327
Essai des mélasses par la fermentation alcoolique. 327 — Traitement des mélasses par les acides. 333 — Levures. 334 — Distillation. 336 — Incinération des vinasses. 337.

LIVRE VI.

DU NOIR ANIMAL ET DE SA REVIVIFICATION.

Pages

Chapitre I. Considérations générales 338
Composition chimique du noir. 338 — Expériences d'Anthon. 340 — Absorption des alcalis. 341 — Lavage des noirs. 343.

Chapitre II. Élimination de la chaux par l'acide chlorhydrique 344
Lavage du noir à l'acide. 344 — Procédé de lavage dans les filtres. 345 — Dosage de l'acide chlorhydrique à employer. 346 — Titres des acides du commerce. 348.

Chapitre III. Élimination des matières organiques par la fermentation ou les lavages alcalins 349
Fermentation par la voie humide. 349 — Théorie de Liebig. 350 — Fermentation par la voie sèche. 352 — Lavages alcalins. 354 — Appareils à traiter le noir. 355 — Méthode d'Eisfeldt. 357.

Chapitre IV. Lavage et calcination du noir 358
Laveurs à noir. 358 — Appareil de Klusemann. 360 — Dessiccation du noir. 361 — Four à revivifier de Schatten. 361 — Four Schreiber. 367 — Influence de la température. 369 — Pertes et dépenses de la revivification. 374.

Chapitre V. Analyse du noir 374
Appréciation de la qualité d'après le poids. 374 — Dosage de la chaux. 376 — Méthode de Schatten par l'acide acétique. 377 — Procédé d'Otto par l'acide chlorhydrique. 380 — Dosage par l'acide carbonique. 382.

Chapitre VI. Traitement du noir par la mélasse 386
Prix de revient. 386 — Fermentation acétique. 387 — Inconvénients de ce mode de travail. 389.

LIVRE VII.

RAFFINAGE DU SUCRE.

Chapitre I. Clarification, cuite et travail des empiis 393
Théorie de la clarification. 395 — Emploi du sang. 394 — Emploi des phosphates, du sulfate de zinc. 395 — Travail de la fonte. 396 — Décoloration des clairces. 399 — Mesure de la décoloration. 399 — Pertes à la filtration. 403 — Travail des filtres. 405 — Cuite des raffinés. 407 — Conduite du travail. 408 — Cuite des mélis. 410 — Réchauffoirs. 411 — Travail des formes. 413.

Chapitre II. Travail des greniers et des étuves 415
Préparation de la clairce. 415 — Travail du blanchiment des pains. 418 — Égouttage par le vide. 422.

Pages

Chapitre III. Sur la cristallisation des candis 429
Considérations générales sur la cristallisation. 429 — Température et degré de concentration. 435 — Des preuves. 438 — De la cuite dans le vide. 442 — Travail des terrines. 443.

LIVRE VIII.

INSTALLATIONS ET DONNÉES GÉNÉRALES.

Chapitre I. Installation d'une fabrique de sucre 447
Calcul et établissement des divers appareils. 447 — Râpes et presses. 448 — Appareils à défequer et saturer. 453 — Filtration. 457 — Force motrice. 464.

Chapitre II. De la consommation d'eau dans une fabrique de sucre 470
Dépense dans les divers ateliers. 470.

Chapitre III. Consommation de vapeur 474
Calcul de la vapeur dépensée. 474 — Surfaces de grilles et de chauffe. 476.

Chapitre IV. Utilisation des eaux de retour 477
Chauffages à retour direct. 478 — Hydroextracteurs. 478.

Chapitre V. Condensation dans les conduites. — Vapeur surchauffée 483
Pertes de chaleur par les parois. 483 — Effet des diverses enveloppes. 484 — Surchauffage de la vapeur. 485.

Chapitre VI. Contrôle technique du travail 487
Rendement en jus. 487 — Qualité des jus. 488 — Tableaux journaliers du travail. 498.

Chapitre VII. Calcul préalable des rendements 491
Calcul des pertes mécaniques ou chimiques. 471 — Formule donnant la masse cuite. 494.

Chapitre VIII. Sur les pertes de sucre et les moyens de les prévenir 501

Chapitre IX. De la main-d'œuvre dans les fabriques de sucre 508

Chapitre X. Installation d'une raffinerie 509
Calculs et indications générales. 488.

Tables 513

Imprimerie de l'Orphelinat à Halle s/Saale (Allemagne).